FILOSOFIA de la GEOLOGIA

c. c. albritton, jr.
EDITOR

2594EMP
L0000014308

CENTRO REGIONAL DE AYUDA TECNICA
MEXICO / BUENOS AIRES

Emp
550
A342f
ESP

FILOSOFIA DE LA GEOLOGIA

Biblioteca Municipal "Murilo Mendes"
Juiz de Fora — M. G.

Editor
CLAUDE C. ALBRITTON, JR.

Preparado bajo la dirección del Committee of The Geological Society of America, en la commemoración de su 75 avo aniversario

CENTRO REGIONAL DE AYUDA TECNICA
AGENCIA PARA EL DESARROLLO INTERNACIONAL (AID)
MEXICO/BUENOS AIRES

COMPAÑIA EDITORIAL CONTINENTAL, S. A.
MEXICO – ESPAÑA – ARGENTINA – CHILE

Biblioteca Municipal "Murilo Mendes"
Juiz de Fora — M. G.

Título original en inglés:
THE FABRIC OF GEOLOGY

Traducido por:
JOSE M. LOPEZ RUBIO

Ingeniero Geólogo, Ex Supervisor de
Geología Superficial de Petróleos Mexicanos y Jefe de
Investigación del Instituto Mexicano del Petróleo,
Geólogo de la Comisión de Estudios y Planeación del
Territorio Nacional. Presidencia de la República.

Edición autorizada por:
FREEMAN, COOPER, & COMPANY, Stanford, California
© by Geological Society of America
Library of Congress Catalog Card Number 63-17126

Biblioteca Municipal
n.º 2594
data 29/09/983
JUIZ DE FORA - MG

Primera edición en español: enero de 1970

INVENTÁRIO
209
2021

Derechos Reservados © en Lengua Española–1970, Primera Publicación

COMPAÑIA EDITORIAL CONTINENTAL, S. A.
CALZADA DE TLALPAN NÚM. 4620, MÉXICO 22, D. F.

MIEMBRO DE LA CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA EDITORIAL
Registro Núm. 43

NOTA A ESTA EDICION

Esta publicación es traducción de la obra "The Fabric of Geology" editada originalmente en inglés por Freeman, Cooper, & Company y preparada conjuntamente por Cía. Editorial Continental, S. A. y el Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional (A. I. D.), Departamento de Estado del Gobierno de los Estados Unidos de América. El Centro es una organización dedicada a la producción de versiones en español del material fílmico e impreso en los programas de cooperación técnica de la Alianza para el Progreso.

Prefacio

Durante los años que siguieron inmediatamente después de la Segunda Guerra Mundial, muchos geólogos se mostraban inconformes por la instrucción que se impartía a los estudiantes de las ciencias terrestres. Por lo tanto, el Consejo de la Geological Society of America, en diciembre de 1946, nombró un comité que investigara el estado de la educación geológica y que ofreciera sugestiones para su mejoramiento. El informe de dicho Comité apareció en los *Interim Proceedings* de la Sociedad para 1949. De las recomendaciones presentadas, se precisó con más énfasis la que afecta a todos los niveles de la enseñanza en igual grado, "exponiéndose solamente aquellas inferencias. . . por las cuales, los datos observacionales esenciales y las etapas lógicas, condujeron a la inferencia que ya había sido presentada".* Antes de que este criterio fuese satisfecho, los miembros del Comité aseguraron que la estructura lógica de la ciencia geológica tendría que ser reexaminada "desde sus cimientos".

Cuando llegó el momento de hacer planes para conmemorar el septuagésimo quinto Aniversario de la Sociedad, los Consejeros, tomando en cuenta esta última recomendación, acordaron que el tema de la asamblea conmemorativa tratara sobre la filosofía de la geología. Se solicitó a un comité que presentara un libro de ensayos sobre la obra del pensamiento geológico y que confeccionara un programa sobre este asunto para la asamblea anual de 1963.

La carencia en lo absoluto de un libro moderno sobre la filosofía de la geología, fue motivo más que suficiente para llevar a cabo este trabajo. Los miembros del Comité de Aniversario habrán logrado su propósito si esta colección, aun cuando adolezca de algún defecto, cumple como punto central de las discusiones acerca de nuestro papel como científicos.

El libro comienza con un brindis a James Hutton, como fundador de la geología moderna. McIntyre busca el origen de las ideas que dieron forma a la fértil teoría de la Tierra de Hutton y algunas

* Hubbert, M. K., Hendricks, T. A., y Thiel, G. A. (presidente), Report of the Committee on Geologic Education of The Geological Society of America: Geol. Soc. Am., Int. Pr., 1949, Pt. 2, Págs. 17-21.

Biblioteca Municipal Murilo Mendes
JUIZ DE FORA — MG

fuentes probables de información las encuentra en sitios inverosímiles que además incluyen máquinas de vapor, organismos y el casi olvidado trabajo de George Hoggart Toulmin.

¿Tiene la geología sus propias leyes y teorías? ¿Qué debe entenderse cuando a la geología se le llama una ciencia histórica? Estas preguntas son consideradas en una serie de tres ensayos. Bradley identifica a la historia y a la constitución de la Tierra como a los dos principales objetivos de la investigación geológica. Simpson continúa descubriendo las diferencias entre los aspectos histórico y no histórico de la ciencia a las que les concierne respectivamente lo *configuracional* opuesto a las propiedades *inmanentes* de la materia y de la energía. Si las "leyes", en el sentido general del término, se aplican en la naturaleza a lo inmanente y no a lo configuracional, entonces las leyes de la geología física y dinámica son las leyes de la física y de la química. Kitts concluye que la teoría de la geología es, asimismo, la teoría de la física y de la química —la que es utilizada por los geólogos, de cualquier modo, como instrumento de la deducción histórica.

Los experimentos de laboratorio han jugado un papel menos importante en la geología que en la química o en la física. Y, sin embargo, como observó H. H. Read "Cualquier hombre que mire a través de una ventana observa un laboratorio geológico a gran escala en constante operación". McKelvey desarrolla este tema demostrando cómo el geólogo tiene la extraordinaria oportunidad de observar los resultados de experimentos naturales complejos que implican mayores masas e intervalos de tiempo más prolongados que los que puede manejar en el laboratorio.

Los seis ensayos que forman la sección media del libro tratan del pensamiento geológico dentro de la armazón de alguna rama particular de la ciencia terrestre. Woodford examina rigurosamente la proposición, en estratigrafía, de que los fósiles pueden ser utilizados para ordenar a los estratos en series cronológicas. McIntyre investiga la confiabilidad de ciertos métodos para obtener las edades absolutas de las rocas que son utilizadas para calibrar la columna estratigráfica descrita por Woodford. El ensayo de McIntyre también ilustra una tendencia hacia lo cuantitativo en la geología y el tema de Mackin es el de la comparación de los métodos de investigación racionales y empíricos y pone de manifiesto sus ejemplos basados en la geomorfología que es el mismo campo que Leopold y Langbein utilizan para ilustrar la asociación de ideas en el pensamiento geológico. Hill toma de la geología estructural un ejemplo que aprovecha para explicar las reglas de la nomenclatura y la clasificación geológicas. Anderson acude a los ejemplos de la geología estructural para demostrar cómo el geólogo aplica el principio lógico de la simplicidad.

Tres ensayos se ocupan principalmente del tema de la comunicación de los datos e ideas geológicos. Betz examina los instrumentos de comunicación documental y sugiere cómo podrían ser utilizados mejor para luchar con el "problema información" el cual es de un interés cada vez más creciente para todos los científicos. Gilluly señala cómo G. K. Gilbert, en sus memorias científicas, tuvo dificultades al tratar de descubrir las cadenas del razonamiento que ligaban sus observaciones a sus conclusiones. Harrison discute el carácter interpretativo del mapa geológico e ilustra la forma en que se verifica la influencia de la teoría sobre la cartografía y viceversa.

Los dos últimos ensayos identifican las áreas contrastantes del pensamiento y del trabajo geológicos en los que se advierte la necesidad de desarrollarlos ulteriormente. Hagner recomienda que se preste más atención a la historia y a la filosofía de la geología, mientras que Legget señala que cada vez aumentan más las oportunidades de que los conocimientos geológicos sean puestos al servicio del hombre.

El volumen concluye con una bibliografía de autores que refleja el carácter del pensamiento geológico.

La planeación de este libro estuvo bajo la responsabilidad de un comité de ocho personas, quienes además del editor, son los señores Frederick Betz, Jr., James Gilluly, J. M. Harrison, H. H. Hess, Mason L. Hill, Luna B. Leopold y W. W. Rubey.

Los miembros del Comité de Aniversario agradecen a los Trustees of The Graduate Research Center, Inc., por patrocinar una conferencia sobre el objeto y la filosofía de la geología, la cual fue sustentada en Dallas, el mes de octubre de 1960 y también en esta ocasión se presentaron las ideas tentativas sobre los fundamentos lógicos de la geología. Tres filósofos —Nelson Goodman, Carl G. Hempel y John H. Kultgen— hicieron las críticas y su colaboración fue igualmente provechosa para trazar los límites entre los problemas reales y los principios falsos. William E. Benson y Eugene Herrin fueron invitados a la conferencia y participaron activamente en las discusiones que contribuyeron de manera eficiente para dar forma al contenido de este libro.

La idea de reunir a filósofos y geólogos en la conferencia en Dallas fue de W. H. Freeman. El editor de este libro hizo todo lo posible para que la mayor parte de los ensayos fuera leída por los profesores Morton Beckner y Michael Scriven cuyas críticas francas son gratamente reconocidas.

La señora de Robert R. Wheeler preparó el índice especial de la bibliografía y el índice general del libro. La señora Jacquelyn Newbury mecanografió gran parte del original y obtuvo permiso para reproducir los numerosos pasajes textuales de la bibliografía y del texto.

"When 'Omer Smote is Bloomin' Lyre" de Rudyard Kipling, es una reimpresión de *Rudyard Kipling's Verse* (Edición Definitiva) con el permiso de la señora de George Bambridge y Doubleday & Company, Inc.

C. C. A.

Dallas, Texas
Julio 1, 1963

Contenido

Prefacio	5
James Hutton y la filosofía de la geología, DONALD B. MCINTYRE	11
Leyes geológicas, W. H. BRADLEY	25
La ciencia histórica, GEORGE GAYLORD SIMPSON	39
Teoría de la geología, DAVID B. KITTS	71
La geología como el estudio de experimentos naturales complejos, V. E. MCKELVEY	95
Correlación por fósiles, A. O. WOODFORD	103
Precisión y resolución en geocronometría, DONALD B. MCINTYRE	147
Métodos de investigación racionales y empíricos de la geología, J. HOOVER MACKIN	173
Papel de la clasificación en la geología, MASON L. HILL	209
Simplicidad en la geología estructural, CHARLES A. ANDERSON	223
Asociación e indeterminación en geomorfología, LUNA B. LEOPOLD Y WALTER B. LANGBEIN	233
Comunicación geológica, FREDERICK BETZ, JR.	245
La filosofía científica de G. K. GILBERT, JAMES GILLULY	275
Naturaleza y significado de los mapas geológicos, J. M. HARRISON	285
Aspectos filosóficos de las ciencias geológicas, ARTHUR F. HAGNER	295
La geología al servicio del hombre, ROBERT F. LEGGET	307
Filosofía de la geología: Una bibliografía e índice selectos, CLAUDE C. ALBRITTON, JR.	333
Indice para la Bibliografía	391
Notas sobre los Colaboradores	427
Indices de materias	431

DONALD B. McINTYRE

Pomona College

James Hutton y la Filosofía de la Geología

"Cuando Homero pulsó su lozana lira,
Escuchó a los hombres cantando tanto en la tierra como en el mar;

y pensó lo que posiblemente exigiría,
fue y lo logró —¡lo mismo que yo!

"Las vendedoras y los pescadores,
Los pastores y los marineros, también,
y sucedió que otra vez escucharon antiguas canciones,
Pero él permaneció tranquilo —¡lo mismo que tú!

"Ellos sabían que robó; él sabía que ellos lo sabían.
Mas no lo contaron, ni hicieron desorden,
Pero le guiñaron el ojo a Homero cuando bajaba por el camino,

y él a su vez les regresó el guiño —¡lo mismo que nosotros!"

KIPLING

Antes de Hutton, la geología no existía, y se acepta, en lo general, que la ciencia fue creada en los cincuenta años comprendidos entre 1775 y 1825. En 1775 el amigo íntimo de Hutton, James Watt, construyó la primera máquina de vapor, y Werner, quien fue el conductor de los neptunistas, comenzó a impartir enseñanza en la Mining Academy de Freiburg. En 1825 operó el primer tren de pasajeros, y Lyell, quien nació en el año en que falleció Hutton, preparaba su "Principles of Geology" —"la piedra del remate" de la nueva ciencia. Los mismos años presenciaron la Guerra de Independencia de los Estados Unidos, las Revoluciones Industrial y Francesa y las Guerras Napoleónicas. Fue la época de Wordsworth y Coleridge, Byron y Shelley, Goethe y Schiller, Scott y Burns.

Biblioteca Municipal Murilo Mendes
JUIZ DE FORA — MG

Durante este periodo, los trabajos de Haüy sobre cristalografía, el de Werner sobre las propiedades físicas de los minerales y el de Joseph Black sobre su composición química, pusieron los cimientos de la petrología y los del estudio de los materiales de la corteza. La paleontología estratigráfica y la técnica de la cartografía de campo fueron iniciadas por William Smith; pero no fue sino Hutton, y solamente Hutton, quien suministró a la geología un esquema dinámico — una teoría en el sentido original de "algo visto en la mente"—. De esta manera, Hutton desarrolla el mismo papel en la geología que Newton en la astronomía o Darwin en la biología. El poder de la mente para entender es la comprensión, y estos gigantes intelectuales nos han dado la comprensión de los grandes procesos que nos rodean. Por esta razón, Hutton merece el título de "Fundador de la Geología Moderna".[1]

Afortunadamente, para la posteridad, Hutton tuvo su más elocuente biógrafo en John Playfair, profesor de física y matemáticas en la Universidad de Edimburgo, y en el idioma inglés es uno de los escritores más finos que se conocen hasta ahora, de la prosa científica. Si la historia de la ciencia es el estudio del origen y evolución de las ideas, entonces la historia de la geología necesita conceder cierta atención a la siguiente observación de Playfair: "Sería conveniente reconstruir el progreso del pensamiento de Hutton para la formación de un sistema en el cual se ofrecen tanto panoramas de la Naturaleza y donde se manifiesta tanta originalidad".

¿Pero, cómo es posible esperar que alguien, que no sea el autor mismo, pueda seguir la secuencia de ideas que en forma inconsciente ocupan una mente creadora? La respuesta clásica a esta pregunta la proporciona John Livingston Lowes en su estudio de los procesos creativos de la mente de Coleridge, titulado "The Road to Xanadu" —que es la obra más notable sobre descubrimientos que se haya escrito nunca. Coleridge guardó una libreta de notas en la que registró hechos y frases que llamaron su atención, y Lowes fue capaz de utilizarla, así como los archivos de las bibliotecas para seguirlo a través de sus lecturas y luego concluyó que era necesario "desandar", como él dice, "los borrados vestigios de la creación". El resultado es asombroso: el origen de cada frase y analogía en "The Rime of the Ancient Mariner" puede identificarse; y en estas fuentes de información, sencillas y variadas, se incluyen obras tan difíciles como "Sacred Theory of the Hearth" de Burnett, el estudio geodésico de

[1] Al recordar el 150 aniversario de la muerte de Hutton, para mi buena fortuna asistí, en Edimburgo, a la memorable conferencia dictada por S. I. Tomkeieff. Dicha conferencia me afectó profundamente y, considerando que al desarrollo del tema de mi ensayo le concierne aplicar la práctica de pedir ideas prestadas, no he titubeado en adoptar el título de Tomkeieff —y todavía otros más—. El monto de mi adeudo puede calcularse por las referencias que se hacen al trabajo de Tomkeieff (1948).

Maupertuis sobre "The Figure of the Earth"; "Luminous Appearances in the Wakes of Ships" del padre Bourges; y el trabajo del Astrónomo Real en las Philosophical Transactions de la Real Sociedad titulado "An account of an appearance, like a star, seen in the dark part of the moon".

Hutton, como decíamos, "adquirió el hábito de utilizar su pluma continuamente como un instrumento de reflexión", y dejó rezagado lo que con frecuencia describe como "una cantidad increíble de manuscritos"; por desgracia, ninguno pudo conservarse por lo que carecemos de los indicios que pudieran haber ofrecido sus libretas de notas.

Coleridge mismo, que estaba sutilmente enterado de la fórmula "la imaginación es la verdad interna que dirige la creación", constantemente trabajaba sobre "los fragmentos dispersos de la memoria, disueltos, difusos, disipados, con el fin de recrear". "Y en otra parte escribió que los "corchetes y corchetas de la memoria permiten una confluencia de nuestros recuerdos". La analogía es rememorativa de la imagen del descubrimiento matemático de Poincaré, en la cual imagina ideas como la de los átomos enganchados que surcan el espacio al igual que las moléculas lo hacen en la teoría cinética de los gases. El número de combinaciones posibles es tan grande que, aun en el curso de una vida, no podrían ser examinadas en su totalidad, por lo que Poincaré concluyó que la sensibilidad estética, la apreciación de la belleza de una solución elegante, actúa en el subconsciente como un delicado cedazo que retiene las combinaciones dignas de la atención de la mente consciente. De esta manera, la creación de un poema y el descubrimiento de una ley matemática pueden tener mucho en común. Quizá, también, una teoría geológica nace del mismo modo.

Hace mucho tiempo, el gran geólogo estadounidense, Grove Karl Gilbert, estudió este tema expuesto en dos magistrales contestaciones presidenciales: una fue titulada "The Inculcation of Scientific Method by Example" (1885) y, la otra, "The Origin of Hypotheses" (1895). Gilbert, aunque no se distinguió como autor de ideas brillantes e ingeniosas, tenía por costumbre, junto con sus colegas, tratar de analizar los métodos utilizados en la investigación geológica.

En cierta ocasión escribió: "Lo mismo que en el dominio de la materia, nada es creado de la nada y en el de la vida no existe la generación espontánea; así, en el dominio de la mente no hay ideas cuya existencia no se deba a ideas antecedentes, las cuales están en una relación semejante a la del padre al hijo. A esto solamente se debe que nuestros procesos mentales, al ser conducidos en su mayor parte al exterior de la conciencia, sea difícil descubrir el linaje de

las ideas... Para explicar el origen de las hipótesis", Gilbert escribió, "deseo presentar una hipótesis. Y es la que se refiere a que las hipótesis son siempre sugeridas por analogía. Las consiguientes relaciones de la naturaleza son de una variedad infinita, y quien se encuentre familiarizado con el mayor número de ellas, cuenta con bases muy amplias para hacer las sugestiones analógicas de las hipótesis". Creo que fue H. H. Read quien afirmó que "el mejor geólogo es aquel que ha visto mucha geología". De cualquier manera, indudablemente que hay algo de verdad en esta observación.

Las conclusiones a que se han llegado parecen indicar que la preparación necesaria para proyectar una hipótesis debe incluir:

Primero, tener una memoria excelente y extensos conocimientos sobre la materia;

Segundo, habilidad para integrar asociaciones de ideas y razonar por analogía; y

Tercero, la posesión de un alto grado, poco común, de sentimiento estético para llegar a una solución elegante y un entusiasmo vehemente por el tema en cuestión.

Ahora bien, Playfair (1805, Pág. 98) nos informa que el Dr. Hutton:

> ...había adquirido una gran información y su excelente memoria le suministraba una reserva inagotable de erudición, por fortuna, siempre bien empleada. Solía acudir regularmente a reuniones en las que gozaba de la compañía de sus amigos con los que había formado una pequeña sociedad... conocida con el nombre del Oyster Club. Sus miembros fundadores fueron los Sres. [Adam] Smith [autor de "The Wealth of Nations"], Dr. [Joseph] Black [descubridor del calor latente y del bióxido de carbono, y quien introdujo los métodos cuantitativos en la química] y el Dr. Hutton, y pronto se vieron rodeados por un círculo de personas de las que se formó un grupo que sabía valorar las conversaciones familiares y sociales de hombres tan ilustres. Los tres poseían un gran talento, eran visionarios y eruditos, pero sin ese señorío y formalidad afectados que tanto recomiendan los literatos; con la misma facilidad con que se divertían también estaban igualmente preparados para conversar y escuchar, y la sinceridad de su amistad nunca fue empañada, al menos, por el espectro de la envidia; sería difícil encontrar un caso semejante al de esta genuina sociedad, donde todo aquello que la favoreciera tendía a mantenerla lo más perfectamente unida y cada cosa que resultara adversa era totalmente eliminada. Las conversaciones siempre fueron liberales; por lo común, científicas, pero nunca didácticas o de carácter polemista, y como este círculo era el principal centro de reunión de los extranjeros que visitaban Edimburgo, los temas tratados se relacionaban, ya fuese con el arte o con la ciencia, derivándose de ello, desde entonces, un extraordinario grado de variedad e interés que redundó en beneficio de la sociedad.

Entonces, llegamos a un punto tal en el que podemos ubicar a Hutton en un sitio donde se acumulaban ideas e informaciones diversas y en el que, además, debemos considerar su extraordinaria memoria. ¿Qué podemos decir de su habilidad para razonar por analogía? Playfair señala que Hutton poseyó "el ojo experimentado, el poder de percibir las pequeñas diferencias y las excelentes analogías con las cuales discriminaba o unía los objetivos de la ciencia y la facilidad de comparar los fenómenos nuevos con otros atesorados en su mente".

¿Qué hay, entonces, de su apreciación sobre la belleza de una solución elegante, y qué hay acerca de su entusiasmo?

> Una circunstancia que en gran parte diferenció el carácter del intelectual y el del filósofo de quien hacemos referencia, fue una actividad poco común y una mente laboriosa sustentada por la más grande de las admiraciones por todo lo que en la ciencia fuese nuevo, bello o sublime. Más que la adquisición de la fortuna y de los placeres que directamente hablan a los sentidos, sin citar las más vivaces expresiones de regocijo de otros hombres, Hutton mostraba un mayor interés por las noticias de una nueva invención o el deseo de instruírse en una nueva verdad. Esta sensibilidad hacia el placer intelectual no estuvo confinada a unos cuantos propósitos ni a las ciencias que particularmente cultivaba: gozaba con las mejoras introducidas por Watt para el perfeccionamiento de la máquina de vapor o con los descubrimientos de Cook en los Mares del Sur, con el entusiasmo del hombre con quien compartía el honor o el fruto que se otorgaba a ambos. El fuego de su expresión en tales ocasiones, y la animación que se reflejaba en su semblante y en sus maneras, son indescriptibles. Siempre fueron recibidos con gran deleite por aquellos que tuvieron la fortuna de penetrar en sus sentimientos y con gran asombro por quienes no lo lograron.
>
> Con este gusto intenso por todo lo bello y sublime en la ciencia, fácilmente podemos concebir el placer emanado de sus propias especulaciones geológicas que le ofrecieron objetos novedosos y grandiosos para incitar la imaginación al orden simple y uniforme que impera en toda la historia natural de la Tierra... y que son cosas a las que difícilmente cualquier hombre permanecería insensible, pero que para él fueron motivos, no de un deleite transitorio, sino de una dicha sólida y permanente (Playfair, 1805, Pág. 91).

Otra observación de Playfair se refiere a que tanto Hutton como Black estaban "hechos para experimentar la sensación de todo lo bello y lo grande de la ciencia, con mentes inventivas y fértiles que ideaban nuevas combinaciones". Sin temor a equivocarnos, puede afirmarse que Hutton tuvo todas las cualidades que hemos sugerido, tan necesarias en un sintetizador científico —y las poseyó en un grado notable—. Ahora debemos asomarnos a la probable fuente de sus ideas: sus antecedentes inmediatos y los hechos muy meritorios de sus amigos.

Los primeros estudios formales de Hutton fueron en química y medicina, primero en Edimburgo, después en París y finalmente en Leyden, en donde, a la edad de 23 años, adquirió el grado de Doctor

Biblioteca Municipal Murilo Mendes
JUIZ DE FORA — MG

en Medicina. Sin embargo, nunca ejerció, pues al regresar a Escocia tuvo que hacerse cargo de una pequeña granja que heredó de su padre. Nunca hizo las cosas a medias, por lo que de inmediato aplicó sus conocimientos científicos a la agricultura. Introdujo nuevos métodos en la agricultura escocesa y viajó a Norfolk y a los Países Bajos en busca de mejores técnicas y sistemas. Durante estos viajes se acrecentó su interés por el origen de los suelos y los procesos geológicos.

Después de 13 años de éxitos agrícolas, se trasladó a Edimburgo, donde sus ingresos provenían principalmente de una planta de cloruro de amonio —la primera en Inglaterra. Su tiempo lo dedicaba a la lectura de experimentos químicos, a menudo, junto con Black y en compañía de sus estimulantes amigos. Fue miembro del Consejo de la recientemente organizada Royal Society de Edimburgo, y para el primer volumen de las Memorias de la Sociedad preparó su trabajo sobre la "Theory of the Earth, or an investigation of the laws observable in the composition, dissolution, and restoration of land upon the globe". El trabajo fue leído en dos reuniones sucesivas de la Sociedad en 1785. Un malestar impidió a Hutton asistir a la primera de estas reuniones y la primera parte de su trabajo fue leída por su amigo Joseph Black.

Además de sus estudios en medicina, agricultura, química, meteorología y geología, publicó tres volúmenes sobre investigación filosófica y una disertación sobre el idioma chino.

Los logros de sus amigos son tan extensos que solamente podemos ofrecer una lista de ellos. A sus conocimientos se debe el descubrimiento del bióxido de carbono, del nitrógeno, del oxígeno y del estroncio, y él fue el primero en extraer sodio de un silicato. La lista incluye el descubrimiento de que el agua adquiere, en cierto instante, una densidad máxima y que el calor latente es necesario para cambiar su estado. Entre sus amigos se contaban hombres que participaron en el perfeccionamiento de la máquina de vapor; en la fundición del hierro y en una planta de ácido sulfúrico; en el uso del cloro para el blanqueamiento; el autor del primer libro sobre química agrícola; el autor de la "Wealth of Nations"; el hombre a quien Sir Walter Scott dedicó "Waverly"; y aquel otro muy notable que nunca estuvo en el mar pero que ideó tácticas navales con las cuales la flota británica alcanzó varias victorias y que se citaron en las órdenes de batalla de Nelson, en Trafalgar.

Con estos antecedentes estamos preparados para examinar la Teoría de Hutton y también deduciremos algo del original inédito sobre su "Elements of Agriculture", en el que estuvo trabajando hasta el

momento de su muerte. Hasta donde sea factible, transcribiré las propias palabras de Hutton.

Primero, antes de entrar en materia, es necesario saber que, para Hutton, "Una teoría no significa nada si antes no se hace una generalización de los hechos particulares; y estos hechos, al elaborar una teoría sobre la Tierra, deben ser percibidos de las observaciones de la historia natural". Para Hutton, un fenómeno (al cual llamó una "apariencia") "explicado" ha sido "comprendido" por una teoría, es decir, ha sido incorporado dentro de la estructura de la teoría.

Segundo, Hutton observó que "el hombre percibe con placer el orden y la regularidad con que se presentan las obras de la naturaleza, en vez del natural disgusto ante el desorden y la confusión. Si la piedra que hoy cae mañana fuese levantada, sería el fin de la filosofía natural, nuestros principios fracasarían y ya no continuaríamos investigando más las reglas de la naturaleza de acuerdo con nuestras observaciones".

Por supuesto, se trata de la doctrina del uniformismo cuya paternidad no le pertenece a Hutton. Antes que regresara a Leyden, el profesor de astronomía de este lugar escribió: "Cuando, como resultado de ciertas observaciones, anticipamos otros casos que no hemos advertido directamente, nuestra predicción está basada en el axioma de la uniformidad de la naturaleza. Toda acción sería imposible si no pudiéramos suponer que las enseñanzas de las primeras experiencias fueran válidas en el futuro".

Para Hutton era evidente, de acuerdo con sus propias palabras, "que debemos descifrar los trabajos de pasadas épocas en el actual estado de los cuerpos naturales y de su interpretación hemos de llegar a la conclusión de que nada tenemos, excepto las leyes de la naturaleza establecidas en la ciencia del hombre por su razonamiento inductivo. Pero el hombre no está satisfecho al advertir cómo se encuentran las cosas; se esfuerza por saber cómo han existido y las que están por existir". Sin embargo, fue Sir Archibald Geikie y no James Hutton quien cristalizó este concepto en el aforismo memorable: "El presente es la llave al pasado."

Según la propia opinión de Hutton, el estudio de la agricultura fue el estudio de su vida; la geología solamente fue incidental. Por lo tanto, observó al mundo como una granja con pozos fluyentes, concebida para sostener plantas y animales y con la rotación necesaria para mantener la fertilidad. En realidad, el secreto de Hutton estribó en que consideró al mundo como una especie de superorganismo. No tuvo la mente estrecha de un especialista, pues para él las ciencias biológicas estaban integradas con la física y, como dice, "aquí

se tiene un sistema compuesto de cosas que en conjunto forman un mundo viviente".

> Las rocas más sólidas se convierten en polvo y se descomponen sobre la superficie de la Tierra y de esta manera se procuran los suelos, ya sea sobre el sitio que les ha dado nacimiento o en otro lugar remoto donde han sido transportados por el agua o el viento. Para esta gran finalidad del mundo, debe sacrificarse la estructura terrestre, pues la fertilidad del suelo depende del estado suelto e incoherente de sus materiales, y este estado de los suelos fértiles necesariamente la expone a los estragos de la lluvia en las superficies inclinadas de la Tierra.
>
> De las cimas de las montañas a las costas marinas, todos los suelos están sujetos a ser movidos de sus lugares para ser depositados en sitios más bajos; de esta manera se procede gradualmente desde la montaña al río y del río, paso a paso, al mar. Si el suelo vegetal es así removido constantemente de la superficie de la Tierra, y si su lugar es cedido de esta manera para la disolución de la tierra sólida..., podemos percibir un fin para esta máquina maravillosa; un fin del que surge la idea de... que la destructibilidad de sus tierras es muy necesaria en el sistema del globo, en la economía de la vida y en la vegetación. Puede concluirse que la permanencia aparente de esta Tierra no es real o absoluta y que la fertilidad de su superficie, al igual que el estado saludable de los animales, debe tener su periodo y ser sucedido por otro (Hutton, 1788, Pág. 215 *et passim*).

"Consideremos el globo de esta Tierra como una máquina construida bajo principios químicos y mecánicos, ... ¿Pero este mundo [él pregunta] debe considerarse principalmente como una máquina que perdura no más tiempo que el que requieren sus partes para mantenerse en su actual posición y en sus propias formas y cualidades?" Desde luego, nos damos cuenta de que en la mente de Hutton se encuentra la máquina de vapor de Watt. ¿O [él pregunta] no puede ser considerada también como un cuerpo organizado que tiene una constitución en el que al descomponerse la maquinaria es reparada naturalmente... hay,... en la constitución de este mundo, una operación reproductiva por la cual una constitución arruinada, puede, a su vez, ser reparada?" (Hutton, 1788, Pág. 215). Y aquí tenemos al físico y al agricultor.

"De la constitución de aquellos materiales que componen a las tierras actuales, nos asiste la razón para concluir que, durante la época en que esta Tierra se estuvo formando por la colección de sus materiales en el fondo del mar, existió primero una Tierra con un contenido mineralógico similar al que encontramos actualmente al examinar la Tierra. Una Tierra habitable está hecha para surgir de las ruinas de un primer mundo". Y he aquí a Hutton, el geólogo.

Todo el espíritu de la geología de Hutton está contenido en su juicio de que "La materia de este mundo activo está en perpetuo movimiento y que la saludable circulación [¡una excelente expresión

médica!] es la provisión tan sabiamente hecha para el crecimiento y prosperidad de las plantas y para la vida y comodidad de varios animales".

Ahora es un hecho, marcadamente notable, que inmediatamente antes de la publicación de la Teoría de Hutton, en 1788, hubo un hombre, casi olvidado por completo, que consideró a la Tierra en la misma forma que lo hizo Hutton. Su nombre, George Hoggart Toulmin. Nadie familiarizado con los escritos de Hutton puede leer "The Antiquity of the World" de Toulmin, sin que deje de impresionarse por sus asombrosas similitudes. Por mi parte, encuentro imposible evitar pensar que Hutton lo leyó antes de escribir su propio trabajo.

Al igual que Hutton, Toulmin percibió una visión de la Tierra notablemente amplia, refiriéndose a la "belleza en el orden y disposición de las varias partes que componen este todo estupendo". Como Hutton, adoptó un uniformismo fundamental: "La naturaleza siempre es la misma, sus leyes son eternas e inmutables". También creyó, lo mismo que Hutton, que los cambios lentos, largamente continuados, pueden producir resultados trascendentales: "Estas verdades inmutables nunca deben ser olvidadas", y escribe: "que los animales y vegetales florecen y se destruyen; las tierras son formadas lentamente; que cambian con el tiempo; que la piedra es formada y su composición descompuesta o alterada; que las montañas ahora son elevadas; ahora deprimidas; —que la naturaleza vive en movimiento".

Tanto Hutton como Toulmin reconocieron que las rocas sedimentarias son pruebas de la circulación de la materia. Pero para mí fue de particular interés que las palabras y frases, muy de Toulmin, hicieran eco en lo que sabía de Hutton: "La formación y destrucción continua de toda sustancia existente, la circulación incesante de la materia, no produce desorden. Es necesario un desgaste continuo en todas partes para la incesante reparación del todo. La afinidad y la relación más estrecha es conservada a través de todo el sistema de cosas".

Hutton escribió: Estamos "en primer lugar, para admitir un orden en un tema, el cual, en otro aspecto ha aparecido como un desorden y confusión absolutos... Hay cierto orden establecido para el progreso de la naturaleza, para la sucesión de las cosas y para la circulación de la materia sobre la superficie del globo... Debemos observar cómo esta máquina es tan ingeniosa que tiene hasta aquellas partes que se están desgastando y destruyendo y que a su vez se repara... la destrucción necesaria es reparada en forma natural".

"Por lo tanto", dice Hutton, "estamos preparados para observar la circulación de la materia del globo y un sistema de bella economía

en las obras de la naturaleza. Esta Tierra, al igual que el cuerpo de un animal, se desgasta al mismo tiempo que se repara. Mantiene un estado de desarrollo y acrecentamiento al igual que otro en el que disminuye y se destruye. Así es que en una parte se destruye y en otra se renueva".

La última sentencia al finalizar el libro de Toulmin: "Por ningún medio hemos contravenido... la existencia de una inteligencia y sabiduría infinitas" y siempre se refiere a que "cada acción de la naturaleza lleva el sello de la sabiduría y la consistencia". El último párrafo del trabajo de Hutton comienza diciendo: "Hemos logrado llegar al fin de nuestro razonamiento y tenemos la satisfacción de haber encontrado en la naturaleza sabiduría, sistema y consistencia".

Toulmin escribió: "siempre ha habido una sucesión de eventos algo similares a los que continuamente observamos... una vasta sucesión de edades... Hemos sido inducidos a concluir de que hay un sistema de cosas completo", y así sucesivamente. Hutton expresa la idea en la forma siguiente: "hemos visto una sucesión de mundos, de lo cual podemos concluir que hay un sistema en la naturaleza".

Toulmin expresa: "En el círculo de la existencia nos esforzamos por encontrar el principio de las cosas". Y Hutton insinuó que él había buscado el límite de su visión en el pasado y escribió: "Es en vano esperar encontrar algo que sea superior al origen de la Tierra".

El punto principal de Toulmin se refiere a que, "a través de toda esta investigación nos hemos esforzado por demostrar... que nunca ha habido un principio, por lo que nunca habrá una conclusión...". Y sigue repitiendo, "el total sistema de cosas nunca ha tenido un comienzo, ni nunca tendrá una terminación". Y la sentencia final en el trabajo de Hutton dice que: "El resultado, por lo tanto, de nuestra investigación actual, es que no encontramos vestigio alguno de un comienzo ni la perspectiva de un fin". ¿No estamos ya, como John Livinstone Lowes "desandando los borrados vestigios de la creación?"[2]

En 1749 se le otorgó a Hutton el grado de Doctor en Medicina, en Leyden, por su tesis sobre "The Blood and Circulation in the Microcosm". El título nos recuerda que, desde los comienzos del pensamiento especulativo, los filósofos han examinado el concepto de que el hombre, el microcosmos, es el compendio del macrocosmos, o sea, el mundo en el cual vivimos. Constantemente se hicieron intentos para encontrar las analogías o correspondencias entre los aspectos de la anatomía y fisiología del hombre y la estructura y obras del universo. Una de las más antiguas fue hecha entre el Sol, regulador del poder

[2] Confío que será comprendido el significado de estas palabras y que ningún lector de Lowes acuse a Coleridge de plagio.

del macrocosmos, y el corazón que gobierna el poder del microcosmos. Ahora bien, con el prestigio que había alcanzado la escuela de medicina de Leyden por el libro clásico de Harvey, publicado en 1628, titulado "On the Movement of the Heart and Blood", Hutton no podría haber adoptado la circulación de la sangre como punto principal de su tema sin haberse familiarizado antes con el libro citado.

Al dedicar su obra al rey Carlos I, Harvey escribió: "El corazón de los animales es la base de su vida, su principal miembro, el sol de su microcosmos; del corazón dependen todas sus actividades; del corazón dependen toda su viveza y resistencia. Igualmente, el rey es la base de sus reinos, el sol de su microcosmos, el corazón del estado". Y en el texto escribió:

> Comencé a pensar si no podría haber movimiento, aunque fuera en un círculo, en el mismo sentido que lo utilizó Aristóteles cuando dijo que el aire y la lluvia emulan el movimiento circular de los cuerpos celestes; puesto que la humedad de la Tierra al ser calentada por el Sol se evapora; los vapores al ser arrastrados hacia arriba se condensan y caen como lluvia humedeciendo otra vez la Tierra para producir sucesiones de vida nueva. En un estilo similar, el movimiento circular del Sol da lugar a las tormentas y a los fenómenos atmosféricos. Y así deben ocurrir, con toda probabilidad en el cuerpo humano, a través del movimiento de la sangre. El corazón merece llamarse el punto inicial de la vida y el sol de nuestro microcosmos justamente como el Sol también merece ser llamado el corazón del mundo.

De este modo, la sugestión que insinúo no es descabellada y se aclara por la siguiente cita de Hutton: "La circulación de la sangre es la causa eficiente de la vida; pero la vida es la causa final, no solamente para la circulación de la sangre, sino también para la revolución del globo: sin una luminaria central y una revolución del cuerpo planetario podría no haber una criatura viviente sobre la faz de la Tierra". Ahora bien, esta cita no es de su tesis médica, sino de la "Theory of the Earth" ¡escrita 46 años después de que abandonó Leyden! Y de nueva cuenta Hutton vuelve a referirse en ésta, su obra clásica, a la "fisiología" de la Tierra —con una frase más significativa, que recuerda, incidentalmente al libro de Thomas Robinson, "The Anatomy of the Earth", publicada en 1694, en el que proclamaba que la Tierra era un superorganismo con "una circulación constante de agua, como ocurre con la sangre en los animales".

La analogía del microcosmos y macrocosmos, la analogía de las esferas celestes y la atmósfera, la analogía del corazón y del Sol, la analogía de la sangre y de la lluvia: ésta es la herencia de la Teoría de Hutton —de nuestra teoría—. Y el corazón de la teoría (si puedo utilizar la analogía) es el concepto de la circulación de la materia en el macrocosmos. Uno de los maestros famosos de Leyden,

Biblioteca Municipal Murilo Mendes
JUIZ DE FORA — MG

anterior a la estancia de Hutton, escribió que "el Autor de la naturaleza nos ha creado con lo necesario para razonar por analogía". Me enteré que Grove Karl Gilbert aprobó esta sentencia. En lo moral, parece ser que las analogías son tan importantes en la génesis de las hipótesis científicas, que aun las falsas analogías algunas veces son extremadamente fértiles.

Para finalizar, desearía informar a ustedes sobre el Circulation Club, fundado en Edimburgo tres años antes que se diera lectura al trabajo de Hutton a la Royal Society. El objeto de su fundación fue de acuerdo con la siguiente cita de su Constitución: "conmemorar el descubrimiento de la circulación de la sangre por la circulación de la copa". Adoptemos y adaptemos la antigua tradición; nuestros corazones laten más rápido y nuestra sangre se conmueve al conmemorar el descubrimiento de la circulación en el macrocosmos, y brindemos en nombre del inmortal fundador de la geología, James Hutton, Doctor en Medicina.

BIBLIOGRAFIA

Bailey, *Sir* E. B., 1950, James Hutton, founder of modern geology (1726–1797): Roy. Soc. Edinburgh, Pr., vol. 63, sec. B., 1947–49, pp. 357–368.

Gilbert, G. K., 1885, The inculcation of scientific method by example, with an illustration drawn from the Quaternary geology of Utah: Am. J. Sci., 1886, 3rd series, vol. 31, pp. 284–299.

———, 1896, The origin of hypotheses, illustrated by the discussion of a topographic problem: Science, n.s., vol. 3, pp. 1–13.

Harvey, William, 1628, Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus: Tr. from original Latin by Kenneth J. Franklin for the Royal College of Physicians of London, 1957, Oxford, Blackwell Scientific Publications, 209 pp.

Hutton, James, 1788, Theory of the earth; or an investigation of the laws observable in the composition, dissolution, and restoration of land upon the globe: Roy. Soc. Edinburgh, Tr., vol. 1, pt. 1, pp. 209–304.

———, 1795, Theory of the earth, with proofs and illustrations: Edinburgh, Facsim. reprint 2 vols., 1959, New York, Hafner.

Lowes, J. L., 1927, The road to Xanadu; a study in the ways of the imagination: Boston, Houghton Mifflin, 623 pp.

Playfair, John, 1802, Illustrations of the Huttonian theory of the earth: Edinburgh, Cadell and Davies, and William Creech (Facsim. reprint with an introduction by George W. White, 1956: Urbana, Univ. of Illinois Press), 528 pp.

———, 1805, Biographical account of the late Dr. James Hutton, F.R.S. Edin.: Roy. Soc. Edinburgh, Tr., vol. 5, pt. 3, pp. 39–99. Reprinted *in* The works of John Playfair, Esq., 1822, vol. 4, pp. 33–118, Edinburgh.

Poincaré, Henri, 1908, Science et méthode: Translated by Francis Maitland, reprinted 1952: New York, Dover Publications, 288 pp.

Tomkeieff, S. I., 1948, James Hutton and the philosophy of geology: Edinburgh Geol. Soc., Tr., vol. 14, pt. 2, pp. 253–276. Reprinted 1950, Roy. Soc. Edinburgh, Pr., vol. 63, sec. B, 1947–49, pp. 387–400.

———, 1950, Geology in historical perspective: Adv. Sci., vol. 7, pp. 63–67.

Toulmin, G. H., 1780, Antiquity and duration of the world: (cited by Tomkeieff).

———, 1783, The antiquity of the world, 2d ed.: London, T. Cadell, 208 pp.

———, 1785, The eternity of the world: (cited by Tomkeieff).

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M G.

W. H. BRADLEY

U. S. Geological Survey

Leyes Geológicas[1]

Los investigadores de la filosofía de la ciencia han llegado al acuerdo de considerar a las leyes generales como muy numerosas y ampliamente aceptadas entre los físicos y químicos, juzgándolas, en realidad, como el *sine qua non* de la ciencia y algunos hasta se aventuran a decir que si éstas no existen, no estamos tratando, entonces, con la ciencia verdadera, sino con algo de un orden inferior —como algo más amorfo—. Algunos filósofos han observado también (aunque raramente lo han publicado) que, en la geología, las leyes de alcance general más bien son raras, o quizá hasta ahora no reconocidas y, por lo tanto, no formuladas.

Las leyes generales, en realidad, son raras en geología. ¿Por qué? ¿No es la geología la responsable de tales generalizaciones, o a los geólogos les concierne bien poco los aspectos universales de su ciencia? ¿Está la geología en un estado de inmadurez tal que es incapaz de producir generalizaciones de amplia aplicación, o los geólogos han encontrado que para sus propósitos las leyes generales son trampas intelectuales? ¿O los geólogos, debido a su materia, razonan en forma algo diferente a los físicos y químicos? Quizá nosotros y los biólogos, quienes también están obligados a recorrer una complicada red de caminos comparable o aun más compleja que la nuestra, tenemos algo diferente que ofrecer a los filósofos de la ciencia en la forma de cierto razonamiento disciplinado. Posiblemente los filósofos estén equivocados al juzgar las metas y capacidades de una ciencia a través de las ciencias tradicionalmente estrictas de la física y de la química. ¿Puede haber otra meta que no sean las leyes físicas con su simple belleza innegable y con su vasta inclusividad?

---

[1] Al escribir este ensayo tuve como norma beneficiarme con las sugestiones y críticas generosas de mis numerosos colegas del Departamento Geológico de los Estados Unidos. Entre otros, estoy particularmente agradecido a W. T. Pecora y Dwight Taylor por persuadirme a desechar el primer proyecto de este ensayo.

Estoy especialmente agradecido a Donald B. McIntyre del Pomona College, y a Allen M. Bassett del San Diego State College, por sus sugestiones constructivas. El profesor McIntyre formuló una serie de preguntas estimulantes que no son tratadas en el ensayo. Por fortuna, muchos de sus puntos son discutidos y satisfactoriamente contestados por Simpson en este capítulo.

Biblioteca Municipal Murilo Mendes
JUIZ DE FORA — MG

Uno desea saber cuándo el entendimiento total y la explicación satisfactoria de un proceso dinámico que opera continuamente, como el de la edificación y esculpimiento de una cordillera montañosa o el de la división de las células vivientes, no son metas tan codiciables ni peldaños tan valiosos en la escalera del conocimiento para descubrir una ley como la de Gay-Lussac. Por supuesto, no trato de menospreciar dicha ley, sino simplemente elevar a la consideración de ustedes una materia que trata con valores que operan a largo plazo en el dominio del conocimiento. De hecho, deseo saber si actualmente el interés de los físicos, de los químicos y de los científicos en general, por la formulación de leyes es mucho menor que el que puedan tener porque su entendimiento de los fenómenos y las relaciones que existen entre todas las distintas clases de ellos fuese aún más profundo.

Por lo tanto, resulta oportuno examinar primero qué es lo que debe entenderse por una ley en la ciencia y después examinar brevemente a la geología misma. De esta manera estaremos en una mejor posición para juzgar cuáles son las leyes que existen en la geología, cuáles se están formulando actualmente y por qué, de hecho, son raras en ella. Pero antes de tratar estos puntos consideraremos brevemente los aspectos más especulativos de los instrumentos mentales que el geólogo utiliza en sus razonamientos. Estas especulaciones implican una analogía con los biólogos modernos, cuyos problemas de interpretación y formulación de leyes constituyen un patrón muy semejante al nuestro y, además, por otras razones similares.

De las muchas interpretaciones que se da al vocablo "ley", en la ciencia no hay otra expuesta con más sencillez que la de Karl Pearson (1900, Págs. 86, 87, 99):

> Los hombres estudian una variedad de hechos... los clasifican y los analizan, descubren relaciones y sucesiones y después describen, con expresiones, lo más simple posible, quizá la más amplia variedad de fenómenos... En esta forma estamos en condiciones de entender una ley científica... un resumen en taquigrafía mental, el cual reemplaza las largas descripciones de las sucesiones entre las que se mezclan las impresiones a nuestros sentidos... Este tipo de leyes simplemente describen, nunca explican...

Ejemplos clásicos de leyes naturales son desde luego, las leyes del movimiento de Newton y las leyes de la termodinámica. Algunas de las más fundamentales en la naturaleza, como las de la equivalencia de masa y energía, se han establecido como leyes generales. Expresan, en forma breve, un grupo de interrelaciones más o menos complejas, cuya consistencia ha sido observada repetidamente. Son empaquetamientos útiles de conocimientos —como punto de referencia de cierta clase—. Simplifican nuestros esfuerzos cuando interpretamos los fenómenos que estudiamos. Pero todas estas leyes son elaboradas por el hombre y por esta razón reflejan su experiencia tan variada; pero difieren en grado de generalidad. Algunas, como las de la termodinámica, al parecer son válidas para todos los fenómenos terrestres a pesar de que cada una tiene una concebible variedad de valores. Otras son válidas para todas las condiciones ordinarias, es decir, de presión y de temperatura, pero no son estrictamente aplicables en variaciones extremas, como por ejemplo, la ley de Boyle.

Las leyes naturales que establecen reacciones más limitadas son referidas comúnmente como leyes específicas o generalizaciones empíricas. También son pequeños haces de conocimientos. "Principio" es una palabra que nosotros y otros naturalistas utilizamos sin reserva, y, sin embargo, no he encontrado una forma satisfactoria de discriminar entre leyes específicas o generalizaciones empíricas, por un lado, y principios por otro. Quizá son equivalentes. En tal caso, es muy extraño cómo los geólogos reaccionan tan constantemente hacia unas y tan ocasionalmente hacia otros. Una ilustración adecuada de un "principio básico" la proporcionan Gilluly, Waters y Woodford (1951, Pág. 146) al discutir la contribución de Cuvier y Brongniart hecha a la estratigrafía: "Cada formación (grupo de estratos íntimamente relacionados) contiene su propio y característico conjunto de fósiles".

Muy al principio de este ensayo sugerí que la geología posiblemente tiene metas que son algo diferentes a las de los físicos y los químicos, y que cuenta con distintos medios para alcanzarlas. Si, de hecho, difieren nuestras formas de razonar, la causa debe encontrarse dentro de la geología misma.

¿Cuáles son las propiedades que hacen que la geología sea considerada como una ciencia aparte? Se dice de ella que es una ciencia derivada a causa de que gran parte de su esencia proviene principalmente de la química, la física y la biología. Pero tiene su parte vital o medular, la cual es muy independiente y le suministra sus cualidades distintivas que determinan en gran medida la forma en que deben abordarse sus problemas. Es también la historia y constitución de la Tierra —palabra que deben ser entendidas en su más amplio sentido—. Rodeándola completamente se encuentra el hilo del tiempo —que es el hilo que relaciona todos los acontecimientos terrestres cuyas sucesiones y relaciones entre sí, junto con los procesos dinámicos que han estado en operación, forman el todo de la ciencia geológica. La tarea de la geología es reconstruir estos acontecimientos y explicar sus consecuencias directas e indirectas. Cuando decimos "constitución de la Tierra" pretendemos incluir no solamente su composición química elemental, sino también su constitución

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M.G.

mineralógica y litológica, las estructuras internas de los minerales y las rocas y las relaciones estructurales que existan entre unas y otras, es decir, los rasgos arquitectónicos y ornamentales de la Tierra.

La sencilla definición de geología enunciada hace tiempo por Lyell (1832, Pág. 1) más o menos dice lo mismo:

> La geología es la ciencia que investiga los cambios sucesivos que se han operado en los reinos orgánico e inorgánico en la naturaleza; averigua las causas de estos cambios y la influencia que han ejercido al modificar la superficie y estructura externa de nuestro planeta.

En realidad, cada cosa que encontramos en o sobre la Tierra ha llegado a ser lo que es y se halla donde está por los procesos geológicos. Quizás habría cierta aptitud en el caso de los organismos, pero la vida también tuvo su evolución en la historia geológica y, por cierto, toda la vida que nos ha precedido y que ha dejado huellas de sí misma o de sus actividades, es lo que le concierne al geólogo.

Para redondear nuestro entendimiento de los fenómenos geológicos hacemos uso de los procesos terrestres dinámicos del intemperismo, de la erosión, de la sedimentación, del vulcanismo —que se ha supuesto han operado sin excepción, a través de un vasto espacio de tiempo geológico, esencialmente como lo hacen ahora—. No obstante, gran parte de nuestro saber debe provenir de "experimentos" que hayan sido llevados hasta su terminación: sus resultados provienen de procesos que han requerido miles, o más generalmente, millones de años para formarse o que una vez formados yacen latentes durante millones o miles de millones de años. La interpretación de tales experimentos es ulteriormente complicada por el hecho de que las mismas rocas han sido deformadas repetidas veces y reconstituidas química y mineralógicamente. Considerando los inmensos espacios de tiempo y fuerzas infinitas que actúan a través de estos largos intervalos, los elementos se tornan móviles y las sustancias duras y quebradizas ceden por doblez y flujo. Como señala McKelvey en otra parte de este volumen, muchos de estos experimentos se efectuaron a escala tal e implicaron fuerzas y espacios de tiempo tan enormes que es imposible que logremos símiles adecuados en modelos de laboratorio diseñados para probar nuestras interpretaciones.

Una dificultad adicional está omnipresente, de la que se hace advertencia a las personas profanas, y es la que se refiere a la imposibilidad de observar en conjunto la mayoría de los rasgos geológicos debido a su tamaño y a la profundidad que alcanzan abajo de la superficie terrestre, o a la cubierta parcial de suelos o a las rocas más jóvenes, o al hecho de que parte de los rasgos han sido ya erosionados. Por lo tanto, los geólogos siempre se están enfrentando a la tarea de reconstruir los acontecimientos que han sucedido en gran escala,

y del remoto pasado se sirven de los restos parciales de los productos de aquellos acontecimientos. Este problema combinado es como un premio a la capacidad de razonar analógica, inductiva e imaginativamente.

Razonar por analogía es no sólo algo común, sino es algo que probablemente acompaña al hombre desde que comenzó a razonar. Sir D'Arcy Thompson (1961, Pág. 6) se refiere al razonamiento analógico como otro gran tema Aristotélico. En realidad, conduce a la siguiente nota al pie: "Hume declaró y Mill dijo casi lo mismo, que cualquier razonamiento depende de la semejanza o de la analogía y el poder de reconocerla". G. K. Gilbert, al parecer y en forma independiente, expresó exactamente el mismo concepto para explicar cómo los científicos originan las hipótesis (1896, Págs. 2-3). Desea ampliar un poco el punto específico de Gilbert y añadir una pequeña homilía para los geólogos. Comúnmente decimos que un fenómeno desconocido se asemeja a otro cuya explicación ya es conocida o que puede determinarse por la experimentación o por la observación y el estudio. En realidad, estamos enterados de los procesos que actúan en la naturaleza y son los que pueden proporcionarnos valiosas analogías, pero a la vez nos encontramos que los procesos no se han explicado en forma adecuada a pesar de que están operando donde podemos observarlos y medirlos. Las explicaciones adecuadas se encuentran a nuestro alcance, si nos propusiésemos alcanzarlas.

Puesto que el geólogo utiliza datos fragmentarios —que son resultados incompletos de experimentos cuya terminación es a largo plazo— debe emplear el razonamiento inductivo para reconstruir el todo a partir de sus partes. La virtud y el valor del razonamiento inductivo han sido enaltecidos y aprovechados con efectividad por muchos. Quienes han hallado los mismos caminos han sido igualmente elocuentes al señalar los peligros inherentes al utilizar el razonamiento inductivo que, a no dudar, es valioso y necesario; pero el geólogo no debe olvidar que cuando menos debe apoyar un pie sobre la tierra tangible de la que se esfuerza por ser su intérprete.

Mucha gente confunde la imaginación con la tendencia a convocar cosas fantásticas e irreales sin limitación alguna —una facultad que es empleada como un pasatiempo o como un escape de la realidad. Y aunque esto es cierto, en el sentido más literal es el poder de crear imágenes mentales, y como el geólogo, a su vez, únicamente puede observar partes de los rasgos que estudia y como la información de que dispone siempre es parcial (principalmente construye mapas geológicos con el fin de reducir los grandes rasgos a una escala conveniente y así lograr integrar las partes del todo), entonces lo esencial es que sea capaz de enfocar, en tres dimensiones y en

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES

perspectiva, los procesos, que aún continúan operando y que le ayudarán a reconstruir los acontecimientos del pasado. En realidad, todo lo mejor de su imaginanción le permite representar en su mente los procesos que han operado a través del tiempo —una especie de visión en movimiento—. Aunque a la imaginación, uno de los tres elementos esenciales en los procesos del pensamiento del geólogo, la cito al último, no por eso dejo de considerarla como de vital importancia. Un geólogo que no tiene imaginación es tan poco efectivo como el ánade que carece de membranas en sus patas.

Quizá esta discusión, un tanto alargada, referente a la forma en que deben razonar los geólogos, nos está apartando del tema de este ensayo sobre las leyes geológicas. A pesar de ello, por medio de estos recursos mentales los geólogos han hecho contribuciones importantes. Aunque lejos de ser perfecta, se han formado una idea satisfactoria de la imagen de la Tierra sobre la cual vivimos y juzgan que también están convencidos de la larga secuencia de acontecimientos responsables de los cambios en los ambientes en cuyos ámbitos evolucionó la vida. Tales imágenes y conceptos tienen valor en el proceso humano y llenan un nicho importante en el dominio del conocimiento.

Si este avalúo es válido como medida de la contribución del geólogo, es oportuno averiguar qué tanto de este edificio fue construido sobre las bases de cuáles leyes naturales. Así, como dijo W. M. Davis (1926, Págs. 465-466), mucho de él fue construido basándose en las deducciones —las deducciones de los procesos que actualmente observamos y que operaron de la misma manera en el remoto pasado—. Pero los acontecimientos y la secuencia de los mismos de ninguna manera son menos válidos, pues han satisfecho con mucho todas las pruebas que les podamos aplicar por el gran espacio de tiempo que por ahora podemos medir. Para las medidas absolutas del tiempo geológico, dependemos, no obstante, de los físicos y sus leyes.

Permítasenos considerar primero qué tanto han avanzado los geólogos y qué tanto avanzarán más si permanecen dentro de lo que hemos definido como el corazón de la geología —aquella parte que poco o nada necesita de otras disciplinas—. Con seguridad podemos explicar la sucesión estratigráfica de cualquier serie de capas y decir cuál está "arriba" en muchas sucesiones utilizando únicamente las pruebas geológicas. En realidad, la verificación repetida tan frecuentemente de que en toda sucesión (no perturbada por movimientos tectónicos) las capas más jóvenes se encuentran hacia la cima, dió lugar, hace muchos años, a la ley de la superposición: "en cualquier pila de estratos sedimentarios que no han sido perturbados por plegamiento o volcamiento desde su acumulación, el estrato más

joven se encuentra en la cima y el más antiguo en la base" (Gilluly, Waters y Woddford, 1951, Pág. 73). Esta ley fue establecida primero con toda claridad por Nicholas Steno en 1669, quien también estableció la que se refiere a la horizontalidad original, cuya validez ha sido reconocida por todos los geólogos y la cual se expresa en la forma siguiente: "Los sedimentos contenidos en el agua son depositados en estratos casi horizontales y paralelos o casi paralelos a la superficie sobre la cual se están acumulando" (idem. Pág. 73). Por el contenido de fósiles podemos decir la edad geológica de tales sucesiones, y si sus afloramientos son discontinuos podemos correlacionarlos de acuerdo con el "principio básico establecido por Cuvier y Brongniart, ya mencionado y que es tan efectivo que demanda su establecimiento como ley, tal y como se ha hecho con la de Steno.

Si convenimos en utilizar las matemáticas podemos, sin salirnos del armazón de la geología pura, determinar la secuencia de acontecimientos en áreas plegadas y falladas en forma compleja, y aun explicar cómo puede pronosticarse la naturaleza de las partes que se encuentran debajo de la superficie terrestre. Además, casi todo el esculpido de la superficie terrestre puede explicarse sin recurrir a ninguna de las otras ciencias. (Véase, por ejemplo, Gilbert, 1877, y Hack, 1960.) Tales explicaciones se basan en la analogía con los procesos actuales. Los conos volcánicos, capas de ceniza, corrientes de lava y de lodo, todos pueden ser explicados con facilidad por las observaciones hechas en la naturaleza.

Del análisis de un vasto volumen de descripciones y explicaciones comprendidas totalmente en el dominio de la geología pura, Bucher (1933) formuló 46 leyes, estableciendo en cada una de ellas alguna generalización acerca de las relaciones observadas en los rasgos deformacionales de la corteza terrestre. Si tales generalizaciones (las leyes específicas citadas al principio de este ensayo) fueron útiles a los propósitos que él ideó, toca discernirlo a los investigadores de la geología estructural. Quizá tendrán que ser juzgadas como una homilía más si advierto que otra de las ciencias naturales, la biología, ha formulado muchas de tales generalizaciones específicas o leyes y, al parecer, las ha utilizado con buena ventaja.

A excepción hecha de la formulación de Bucher de un excelente número de leyes específicas en 1933, los geólogos del presente siglo han mostrado muy poca inclinación a formular leyes. Pero no siempre ha sido así. Hace unos setenta y cinco a cien años los geólogos mostraban una mayor tendencia a formular generalizaciones y a establecerlas como leyes. Unos cuantos ejemplos serán suficientes para demostrarlo. En el Henry Mountains Report (1877, Págs. 108-124),

Biblioteca Municipal Murilo Mendes
JUIZ DE FORA — MG

G. K. Gilbert, analiza los procesos que esculpieron la superficie terrestre y frecuentemente cita leyes; aunque en forma explícita, sólo formula tres: la ley de la declividad en la que "Podemos decir, en general, *ceteris paribus*, que la declividad tolera una relación inversa al caudal de la corriente"; la ley de la estructura, "En cuanto a que la ley de la estructura controla el esculpimiento, las masas duras se mantienen como eminencias y las suaves son excavadas para formar valles"; y la ley de las divisorias, donde "Las pendientes son tanto más empinadas cuanto más próximas se encuentren a las vertientes".

L. V. Pirsson (1905 Pág. 43) estableció la siguiente generalización como una "Ley general de la provincia". "La provincia petrográfica de la parte central de Montana se caracteriza por el hecho de que en muchos magmas silicosos los porcentajes de potasio y sodio son casi iguales; al disminuir la sílice y aumentar el calcio, el hierro y el magnesio, el potasio supera relativamente al sodio hasta que es dominado fuertemente en los magmas menos silicosos". En nuestros días esta generalización no podría establecerse como una ley. Este ejemplo y los ya citados de Gilbert reflejan la tendencia de aquellas épocas en esforzarse por establecer generalizaciones y fijarlas en la forma de leyes. Desde nuestra actual situación ventajosa, que nos permite apreciar por ahora cuán compleja es su naturaleza, probablemente convendríamos en admitir con justicia que dicha tendencia reflejaría la inmadurez de nuestra ciencia no reconocida entonces.

Si la geología se encontraba en un estado de tal inmadurez hace 75 o 100 años, de manera que no garantizaba la formulación de leyes generales, entonces, ¿cuál es nuestra situación actual?

En efecto, si uno elaborara un censo exhaustivo —el cual no se ha hecho— probablemente se encontraría que ahora se han expresado más generalizaciones que las que hubo hace una o dos generaciones. Tres ejemplos, que casualmente conozco, servirán para señalar el esfuerzo general, aunque ninguno de ellos pueda llamarse o se piense que sea una ley.

Uno es el principio del equilibrio dinámico en la evolución del paisaje, elaborado por Hack (1960, Págs. 85-96) según los primeros enunciados de G. K. Gilbert, W. M. Davis y A. N. Stranhler. De acuerdo con Hack (Pág. 86):

> El concepto requiere un estado de equilibrio entre fuerzas opuestas que operen a ritmos iguales pero que sus efectos recíprocos, se anulen para producir una situación estable en la cual la energía está continuamente entrando y saliendo del sistema Las fuerzas opuestas podrían ser de varias clases. Por ejemplo, un abanico aluvial estaría en equilibrio dinámico si los detritos derramados que provienen de la montaña posterior fuesen depositados en el abanico exactamente al mismo ritmo que fuesen removidos por la erosión de la superficie del propio abanico.

T. B. Nolan expresó otra generalización en su discurso presidencial ante la Geological Society of America (1962, Pág. 277). Al discutir la ley de las riquezas minerales señaló que al hacer las estimaciones del futuro debería tenerse presente no sólo el hecho de que hemos sido capaces durante años de aprovechar progresivamente los depósitos de minerales de la más baja ley, sino "que el tonelaje de material útil en la corteza terrestre aumenta geométricamente con la disminución de la ley".

Todavía fue presentada otra generalización, o más precisamente, un grupo de generalizaciones, por James B. Thompson (1955, Págs. 65-103) en su tratado de las bases termodinámicas en el concepto de las facies mineralógicas.

Considera los siguientes cuatro casos límites y en seguida discute ciertas aplicaciones geológicas.

> CASO 1. El componente móvil en cuestión está presente como una fase pura a la misma temperatura y presión que la roca circundante. Esta es la suposición implícita en el trabajo experimental hidrotermal corriente y en los equilibrios calculados como el de Goldschmidt para el sistema calcita-wollastonita. Produce una temperatura de equilibrio máxima a cualquier presión dada (profundidad).
>
> CASO 2. Las rocas están en equilibrio químico con un sistema de fisuras que contienen una solución acuosa diluida. Este método es aplicable solamente cuando el componente móvil en cuestión es el agua misma. Indica una disminución en muchas de las temperaturas de deshidratación con la profundidad.
>
> CASO 3. El gradiente vertical del potencial químico del componente móvil ha alcanzado un valor tal que no hay más espacio para cualquier tendencia a la difusión vertical de este componente. Este método también sugiere (no sin ciertas reservas) una ligera disminución de muchas de las temperaturas de desvolatización con la profundidad.
>
> CASO 4. El potencial químico del componente móvil es lo suficientemente bajo para que ninguna de las fases que lo contienen sean estables. Para mayor simplicidad, nos referiremos a estos casos límites como los casos 1, 2, 3 y 4, respectivamente. Ahora sólo nos resta considerar hasta qué grado son aplicables estos casos a algunos problemas geológicos específicos (Pág. 96).

El tratado de Thompson sobre los diferentes cambios mineralógicos que se efectúan bajo las condiciones supuestas, ha contribuido con mucho a la capacitación de estos procesos geológicos y, por lo tanto, constituye un avance importante en la ciencia geológica. Dando los datos adecuados sobre los ambientes y los datos termoquímicos de los minerales implicados, es evidente que ahora pueden hacerse generalizaciones similares acerca de procesos tales como la diagénesis, el intemperismo y la formación de los depósitos minerales.

Hasta aquí (con excepción del trabajo de Thompson ya mencionado), en forma premeditada nos hemos mantenido dentro de la esfera de la geología, la cual es simplemente geológica, esto es, que no necesita de ninguna otra ciencia. Hemos visto que podemos explicar muchos de los fenómenos de la geología dentro de este cuadro de referencias. Pero tales explicaciones dejan virtualmente sin respuesta a todas las preguntas del "cómo". ¿Las rocas duras cómo pueden doblarse y fluir?; ¿qué es lo que causó que los minerales se cambiaran a otros, qué lo permitió y cuáles fueron las condiciones que determinaron el cambio?; ¿cómo explicamos el hecho de que las relaciones de los isótopos de oxígeno cambian progresivamente con la distancia a ciertos focos?; ¿cómo pueden ser conservados en los fósiles cosas como los aminoácidos durante millones de años?; ¿cuáles fueron las condiciones que permitieron la conservación del modelo del color en un fósil o un cloroplasto dentro de una célula vegetal?; ¿cómo podemos explicar la movilidad y reordenamiento de los elementos y compuestos dentro de la corteza terrestre?; ¿cómo ha sucedido la reunión de ciertos elementos para formar depósitos de valor comercial y que ha ocurrido para que algunos minerales sean piezoeléctricos? Solamente necesita uno comenzar a preguntar "cómo" en geología y la lista crece al igual que la hierba después de una lluvia templada.

No podemos comenzar a contestar estas preguntas sin la ayuda de la física, la química o la biología. En todo problema de esta amplia índole de problemas, nos damos cuenta que los numerales, las unidades fundamentales de la geología, son compuestos químicos que están donde están y que han logrado llegar a donde se encuentran por la química, así como por los procesos geológicos. Por otra parte, tienen propiedades ópticas, eléctricas, magnéticas, térmicas y mecánicas y estructuras atómicas, que son principalmente del dominio de la física, como las que puede tener el material fabricado por el hombre o del que obtiene de los experimentos ideados por él mismo. Resumiendo, llegamos a la conclusión de que, en cuanto intentamos observar con profundo conocimiento cualquiera de nuestros problemas geológicos, no podemos evitar enfrentarnos con la realidad de que todos los materiales que deseamos conocer y saber su comportamiento, tienen las propiedades, las estructuras y el comportamiento de toda la materia. Por lo tanto, las respuestas que buscamos deben provenir de las mismas fuentes que estudian los químicos, los físicos y los biólogos para instruirse.

Desde luego que para capacitarnos, dependemos de la química, de la física y de la biología y, aún así, los problemas que tanto discutimos acerca de la Tierra no por eso pierden en ningún sentido su

carácter geológico. Los geólogos deben observar —y continuarán observando, midiendo y analizando los fenómenos geológicos, y, de todo esto, lo más importante es que continuarán formulando problemas cuyo meollo sea contestar con exactitud las preguntas del cómo y del porqué. Esta es la obligación y la responsabilidad de los geólogos y ninguno debe confiar en que lo que haya hecho sea lo último. Tan importantes como la física y la química son las soluciones de los problemas que surgen de los estudios geológicos y de cuya formulación no pueden hacerse cargo ni los físicos ni los químicos, a menos que se conviertan en geólogos. Por supuesto, con esto no se desea indicar que los geoquímicos y los geofísicos no formularán preguntas apropiadas a sus disciplinas en relación a los procesos terrestres.

Hemos considerado que las leyes naturales, cuyas propiedades proporcionan a la geología sus notables características, son algo así como la forma de razonar de los geólogos y, en conclusión, es necesario aceptar el crecimiento efectivo de la gran complejidad de la geología y su dependencia progresiva de disciplinas como la química, la física y la biología. Consideraremos en seguida las etapas del desenvolvimiento en el desarrollo de las generalizaciones en la geología, las que en parte pueden expresarse gráficamente (Fig. 1). La idea general implicada en la gráfica se originó de una discusión con mi colega V. E. McKelvey, después de su regreso de la Brookings Institution's Conference for Federal Science Executives en Williamsburg, Va., donde escuchó a Henry Margenau, de Yale, discutir, en general, el desarrollo de las leyes naturales. El diagrama de Margenau, como yo lo entendí, consiste en tres ordenadas que se llaman observaciones Primarias, Conceptos y Proposiciones (leyes). (Véase la Fig. 1.) McKelvey y el que suscribe añadieron la curva límite para indicar el campo filosófico de la actividad de los geólogos. El gran volumen de la actividad geológica se encuentra cercano a la ordenada de las observaciones. Cuando se han relacionado y explicado suficientes observaciones, la actividad se desplaza a la derecha, hacia el campo de los conceptos. Este movimiento se debe al razonamiento inductivo del que resulta un concepto o principio, es decir, una generalización, la que a su vez comprobamos repetidas veces por medio de muchas observaciones. Entre paréntesis, nosotros también utilizamos estos principios para explicar otros fenómenos geológicos; de este modo mantenemos una especie de mecanismo de realimentación, el cual se encuentra presente en las operaciones de razonamiento de todas las ciencias. Pero me inclino a pensar que tales operaciones de realimentación son importantes, especialmente en la geología, debido a que tratamos también con muchos datos fragmentarios y con hipótesis de trabajo.

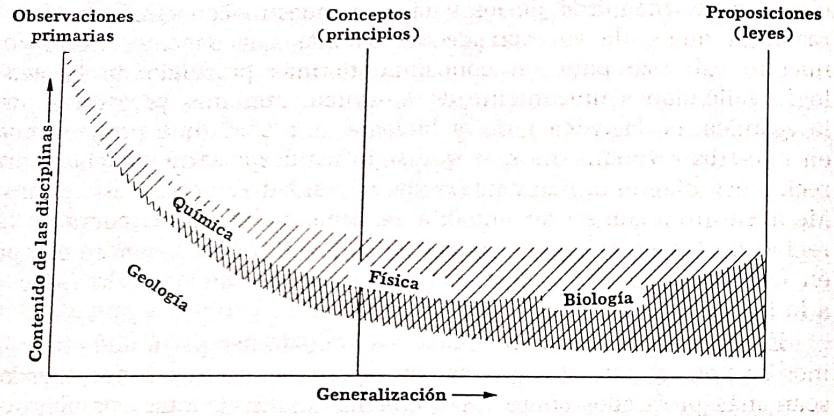


FIG. 1. Representación diagramática del campo de la actividad y pensamiento geológicos, dibujada junto con las tres ordenadas de Margenau: Observaciones Primarias, Conceptos y Proposiciones (leyes). El campo sombreado simboliza la mezcla de las disciplinas combinadas de la química, la física y la biología, por lo que la posición en que están colocados sus nombres no guarda ninguna reación con las ordenadas de Margenau. El área sombreada con líneas cruzadas indica una asimilación progresivamente más grande de la geología por la química, la física y la biología. Las ideas en geología se mueven a lo largo de la abscisa de la generalización en proporción al número y significado de las observaciones y teorías verificadas que están unificadas de acuerdo con conceptos o principios más amplios

La teoría de la isostasia, el origen de las rocas ígneas y la evolución orgánica son ejemplos de tales conceptos o principios.

Muchos geólogos son felices explorando y describiendo. Otros pocos no lo son sino hasta cuando son capaces de explicar lo que encuentran. Un número más reducido considera más atractivo integrar las explicaciones en conceptos o principios más generales. Esta situación posiblemente se deriva del hecho patente de que es mucho más entretenido trabajar en el campo que colocar juntas piezas de fenómenos explicados, especialmente si las piezas fueron construidas por otros.

La inspección ocasional de la curva (Fig. 1) impulsa a uno a preguntarse ¿por qué (con excepción de las dos leyes formuladas hace tiempo por Nicholas Steno) no hemos empujado o hacemos por empujar nuestros conceptos o principios más a la derecha, hacia el dominio de las leyes? Creo que se debe a varias razones. Una es el crecimiento efectivo del conocimiento de la historia de la Tierra y que los procesos implicados en su modelado son excesivamente más complejos de lo que se pensó hace una o dos generaciones. Hemos llegado, por decirlo así, a ser más conscientes del número de variables y de la magnitud de los vacíos en nuestro conocimiento. Otra razón es que cada vez comprendemos más que debemos impulsar nuestro esfuerzo para un conocimiento más profundo de la geología valiéndonos únicamente de la ayuda, aun más progresiva, de la química, de la física y de la biología. A medida que progresamos en nuestros razonamientos, lo que significa desplazarnos hacia la derecha del diagrama, aumentará la necesidad de otras disciplinas. Me aventuro a conjeturar que el área situada abajo de la curva en la región de las ordenadas "conceptos" y "leyes" crecerá con el tiempo en la proporción que la geología asimile a la química, a la física y a la biología.

En conclusión, me parece que hacia cualquier parte que observemos se nota el esfuerzo que se hace porque nuestros conocimientos sean más profundos sobre los problemas cada vez más complejos y el que corresponde a la realidad en cuanto a lo que debemos aprender más, especialmente de la geoquímica y de la geofísica, para ampliar nuestros conocimientos. Me permito sugerir que no todos los cambios inherentes a la rápida expansión de las fronteras de cualquier ciencia, conducen a la reflexión que antecede a la formulación de las leyes generales. Todo es demasiado nuevo e igualmente fecundo, con la posibilidad de crecer y cambiar —además, muchas cosas faltan o están imperfectamente entendidas— y nos preocupamos con juicios reflexivos acerca de lo que ya se sabe. Los problemas nuevos y sin solución son los que más valen la pena, son los más estimulantes, los que más satisfacciones proporcionan. La reflexión está colmada por el estímulo de la época.

Los mismos biólogos parecen encontrarse en una situación muy semejante a la que Paul Weiss (1962, Pág. 470) establece de la siguiente manera:

> La biología... está destinada a conservar su autonomía, lo cual significa que para conocerla y entenderla tendrán que ser estudiados y formulados los mecanismos biológicos en su propio derecho y completa diversidad, y esto explica por qué en biología tantas generalizaciones tienen tan reducida participación en la extensa inclusividad de las leyes de la física, surgiendo de aquí que el rango de cada una de ellas debe ser determinado empíricamente. Este empirismo inherente a la naturaleza biológica, más que una negligencia o un desorden, es el que demanda, entonces, ensayarse sobre un espectro de variables más amplio... lo que parecerá necesario, o aun excusable, para la mayoría de los físicos.

No obstante, también nosotros nos encontramos en esta situación y no debe ser causa de lamento; más bien es una fuente de inspiración, un motivo de alegría. En mi particular opinión, me parece que ahora la geología se encuentra en el comienzo de una etapa explosiva de desarrollo, comparable con la que ocurrió en las ciencias bioló-

gicas cuando la bioquímica y la biofísica se unieron en su apogeo. Dejemos a los filósofos de la ciencia que sientan un poco la embriaguez que produce el fermento espumoso que es la geología de hoy y de mañana. Algún día envejeceremos y tendremos más leyes; pero por ahora estamos muy ocupados explorando, experimentando y tratando de comprender más al "cómo" de aquellos procesos que han originado los rasgos de la Tierra, lo que se encuentra debajo de su corteza y todo lo que ella contiene.

BIBLIOGRAFIA

BUCHER, W. H., 1933, The deformation of the earth's crust: Princeton, Princeton Univ Press, 518 pp.

———, 1936, The concept of natural law in geology: Ohio J. Sci., vol. 36, pp. 183–194.

DAVIS, W. M., 1926, The value of outrageous geological hypotheses: Science, vol. 63, pp. 463–468.

GILBERT, G. K., 1877, Geology of the Henry Mountains: U. S. Geog. and Geol. Survey of the Rocky Mountain Region, Washington, D. C., Government Printing Office, 170 pp.

———, 1896, The origin of hypotheses, illustrated by the discussion of a topographic problem: Science, n.s., vol. 3, pp. 1–13.

GILLULY, J., WATERS, A. C., and WOODFORD, A. O., 1951, Principles of geology: San Francisco, W. H. Freeman, 631 pp.

HACK, J. T., 1960, Interpretation of erosional topography in humid temperate regions: Am. J. Sci., vol. 258-A, pp. 80–97.

LYELL, *Sir* CHARLES, 1832, Principles of geology, 2nd ed.: London, John Murray, vol. 1.

NOLAN, T. B., 1962, Role of the geologist in the national economy: Geol. Soc. Am., B., vol. 73, pp. 273–278.

PEARSON, KARL, 1900, The grammar of science, 2d ed.: London, Adam and Charles Black, 548 pp.

PIRSSON, L. V., 1905, The petrographic province of central Montana: Am. J. Sci., vol. 20 (whole no. 170), pp. 35–49.

THOMPSON, *Sir* D'ARCY W., 1961, On growth and form (abridged edition, edited by J. T. Bonner): New York, Cambridge Univ. Press, 346 pp.

THOMPSON, J. B., 1955, The thermodynamic basis for the mineral facies concept: Am. J. Sci., vol. 253, pp. 65–103.

WEISS, PAUL, 1962, Experience and experiment in biology: Science, vol. 136, pp. 468–471.

GEORGE GAYLORD SIMPSON

Universidad de Harvard

La Ciencia Histórica[1]

Historia, ciencia y ciencia histórica

La más simple definición de historia abarca todo aquello que cambia a través del tiempo. Sin embargo, debe entenderse de una vez que la definición fracasa cuando es necesario hacer algunas aclaraciones si es que se estudia la historia de un modo manifiesto. Una reacción química implica cambios a través del tiempo, pero naturalmente no es histórica en el mismo sentido que cuando la realizó por primera vez Lavoisier como parte de cierto experimento químico. Este experimento no fue un suceso periódico que dependió o que fue causado por acontecimientos ocurridos durante la existencia de Lavoisier y la de sus antecesores, y en sí misma fue la causa de las actividades subsecuentes de este gran químico y de sus sucesores. La reacción química implicada no tiene relaciones causales y no ha sufrido cambios antes o después del experimento de Lavoisier. Siempre ha ocurrido y siempre se repetirá bajo las circunstancias históricas apropiadas, pero como reacción en sí, no tiene historia.

Existe un contraste análogo, en la geología y otras ciencias, entre lo histórico y lo no histórico. Los procesos del intemperismo y la erosión son inmutables; por lo tanto, no son históricos. El Gran Cañón o cualquier otra barranca, son únicos en cualquier momento, aunque, a medida que pasa el tiempo, están cambiando constantemente a otra configuración única y no periódica. Dichos cambios, que pueden considerarse como fenómenos geológicos individuales, son históricos, mientras que las propiedades y procesos que los producen no lo son.

Las propiedades inmutables de la materia y de la energía, así como los procesos y los principios igualmente inmutables que emanan de aquéllas, son *inmanentes* en el universo material y, por supuesto,

[1] Partes de este ensayo se originaron de las conversaciones sobre la explicación de acontecimientos singulares ofrecidas en el Seminar on Methods in Philosophy and Science at the New School for Social Research en mayo 20, 1962. En esta ocasión también aproveché las discusiones y otras conversaciones relacionadas con el presente tema, especialmente sostenidas por Dobzhansky, Nagel y Pittendrigh.

no son históricos aun cuando ocurran y actúen en el curso de la historia. El estado verdadero del universo o de cualquier parte de él en un momento dado, o sea, su configuración, no es inmanente, puesto que está cambiando en forma constante. Es *contingente* de acuerdo con el vocablo de Bernal (1951) o *configuracional* como yo prefiero expresarlo (Simpson, 1960). La historia, por lo tanto, puede definirse como un cambio configuracional a través del tiempo, es decir, como una serie de acontecimientos efectivos, individuales pero afines entre sí. Estas diferencias entre lo inmanente y lo configuracional y entre lo no histórico y lo histórico, son esenciales para facilitar el análisis y la comprensión de la historia y de la ciencia. Ellas se conservarán, se cambiarán y se ejemplificarán, en lo que sigue.

Se han propuesto y discutido las definiciones de ciencia en incontables artículos y libros. Las definiciones breves resultan inevitablemente inapropiadas, menos la que establezco y prefiero: La ciencia es una exploración del universo material que investiga las relaciones ordenadas, naturales, entre los fenómenos observados y que son evidentes por sí mismas. (Para una explicación y descripción más amplias, véase Simpson, 1962, 1963.) Prescindiendo de los puntos que únicamente le conciernen a la ciencia en lo material o en lo natural y de aquellos en los que se apoya la observación, la definición implica tres actividades científicas: la descripción de los fenómenos, la investigación de las relaciones teóricas y explicativas entre ellos y los medios que establezcan la seguridad respecto a las observaciones y las teorías. Entre otras cosas, las últimas secciones de este ensayo considerarán estos tres aspectos de la ciencia histórica.

De esta manera la ciencia histórica se puede definir como la que determina las series configuracionales su explicación y la comprobación de series y las explicaciones. (Ya es evidente y lo será aún más, de que ninguna de las tres fases es sencilla o que está lo suficientemente descrita.)

Probablemente la geología es la más diversa de todas las ciencias y su categoría relativa como parte de una ciencia histórica es correspondientemente compleja. No obstante, está obligada a tratar las propiedades y los procesos inmanentes de la Tierra física y sus constituyentes. Este aspecto de la geología básicamente no es histórico, por lo que puede considerarse sólo como una rama de la física (incluyendo la mecánica) y de la química, ciencias que se aplican a un solo objeto (¡pero cuán complejo!): la Tierra. La geología también trata lo relativo a la actual configuración de la Tierra y de todas sus partes, desde el núcleo hasta la atmósfera. En este aspecto, la geología podría considerarse como no histórica hasta donde es esencialmente descriptiva, aun cuando así no colme completamente la

definición general de una ciencia. En cuanto es teórica, se introducen las relaciones explicativas, y así son necesariamente los cambios y las series de configuraciones que sí son históricas. De esta manera, el estudio científico pleno de las configuraciones geológicas es una ciencia histórica, el *único* aspecto de la geología que le es peculiar, y esto es simplemente geología y no otra cosa. (Por supuesto, no deseo indicar qué puede estudiarse sin hacer alusión a otros aspectos de la geología y de otras ciencias, históricas y no históricas.)

En lo primordial, la paleontología es una ciencia histórica, aunque es simultáneamente biológica y geológica. Su papel es evidente como parte de la biología histórica. En este aspecto, al igual que en otros de la biología, implica todas las propiedades y procesos inmanentes de las ciencias físicas, pero difiere de ellas en que no sólo es histórica, sino que sus sistemas configuracionales son incomparablemente más complejos y tiene almacenamientos de realimentación e información y mecanismos de transmisión diferentes de los encontrados en el dominio inorgánico. Su implicación en la geología y su inclusión en la misma, así como en la biología, son debidos principalmente al hecho de que la historia de los organismos corre paralela a ellas, la contienen a su vez desde el punto de vista ambiental y continuamente actúa en forma recíproca en la historia física de la Tierra. Es de un interés filosófico menor, pero de la mayor importancia funcional, puesto que cuando es aplicable tiene la más alta facultad de determinación que cualquier otro método descubierto para definir la serie de acontecimientos estrictamente geológicos. (Que los métodos radiométricos puedan proporcionar actualmente una determinación igual o mejor, es una esperanza y no un hecho.)

Descripción y generalización

En principio, las bases observacionales de cualquier ciencia es la descripción directa de lo que está ahí y de lo que ocurre, lo que Lloyd Morgan (1891) llamó "historia natural". Un ejemplo físico de historia natural, podrían constituirlo las especificaciones de un péndulo y las observaciones de su periodo. Una geológica sería la que describe una capa de arcosa, su espesor, su actitud y su posición estratigráfica y geográfica. El ejemplo de una paleontológica puede ser la presencia de un espécimen, de una cierta especie, en un punto particular en la capa de arcosa. En general, las historias naturales más extensas de la ciencia histórica serían las que describirían las configuraciones para ubicarlas, a su vez, en el tiempo.

De hecho, la historia natural, en el sentido más estricto, más literal, juega un papel pequeño en la ciencia. Se introduce en ella, aun

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M.G.

en el primer nivel observacional, cierto grado de abstracción, generalización y teorización. Los físicos han compendiado una clase de sistemas configuracionales llamada "péndulo" y suponen que únicamente es necesario observar la longitud y el periodo, indistintamente de que existan otras diferencias en los individuos de la clase, a menos que suceda una observación que no esté acorde con la suposición. Asimismo, el geólogo de ninguna manera describe todas las características de la capa individual de arcosa y de sus partes, sino que ha generalizado una clase "arcosa" y añade otros detalles, si lo considera necesario, únicamente en función de las mencionadas variaciones dentro de las clases que son consideradas oportunas a su siempre limitado propósito. Los paleontólogos se han apartado aún más de la verdad, la historia natural estricta, pues al registrar un espécimen de una cierta especie, no sólo han generalizado un tipo de clase particularmente compleja, sino que también han llegado a una conclusión en cuanto a que el miembro de aquella clase no es precisamente un punto de observación directa en lo absoluto.

Cada objeto y cada acontecimiento es único si se han descrito totalmente sus aspectos configuracionales. Sin embargo, a pesar de los profesores de enseñanza, puede decirse que algunas cosas son más singulares que otras. Esto depende, en primer lugar, de la complejidad de lo que se describe, pues cuantas más cosas complejas haya, seguramente habrá un modo mejor de diferenciarlas de las otras de su clase general. Una capa de arcosa es más compleja que un péndulo, y un organismo lo es en grado mayor que una capa de arcosa. La jerarquía en la complejidad y en la singularidad individual de la física en relación a la geología y a la biología, es característica de estas ciencias y es esencial para comprenderlas desde el punto de vista filosófico. Toleran el grado y clase de generalización que es particular apropiado a las distintas ciencias aun en el nivel observacional primario. La cantidad de clases de observaciones oportunas especiales en la física, es mucho más pequeña que en la geología, y todavía lo es más en la geología que en la biología. Por ejemplo, en función de objetos discretos distinguidos taxonómicamente, compare las cantidades de especies de partículas y de átomos en la física; de minerales y de rocas en la geología; y de los organismos en la biología. Los sistemas y los procesos en estas ciencias tienen la misma secuencia tanto en cantidad como en complejidad.

Otro aspecto de la generalización y del grado de singularidad surge de la comparación de la ciencia no histórica con la histórica y en el contraste que existe entre la inmanencia y la configuración. En los ejemplos previos hemos visto que lo que al físico le concierne es un fenómeno no histórico e inmanente: la gravitación. Era menester a su propósito e inherente a su método eliminarlo hasta donde fuese posible, y de esta manera ignorar cualquier elemento histórico y cualquier singularidad configuracional en el péndulo individual particular utilizado en el experimento. Buscó una ley inmutable aplicable a todos los péndulos y finalmente a toda la materia, indistintamente del tiempo y del lugar. El geólogo y el paleontólogo también estuvieron interesados en la generalización de las propiedades y relaciones comunes entre lo que ocurre entre una arcosa y otra, entre un espécimen y otro de una especie fósil, pero sus generalizaciones eran las de las propiedades configuracionales y no las de las inmanentes y, al menos, se implicó la ciencia histórica y no solamente la no histórica. La arcosa o el fósil tuvieron sus propiedades configuracionales particulares así como generales, su equilibrio significativo de la diferencia y de la semejanza, no solamente a causa de las propiedades inmanentes de sus constituyentes y de los procesos inmanentes que actuaron sobre ellos, sino también a causa de su historia, la secuencia configuracional por la cual han surgido estas cosas individuales. Este último aspecto, no pertinente al experimento del antiguo péndulo o a cualquier cosa de la física más sofisticada de la actualidad, es lo que principalmente concierne a la geología y a la paleontología como ciencias históricas, o ciencia histórica en general.

Ley científica

Ya se ha hecho referencia al experimento del péndulo que tuvo como propósito el de formular una ley. El concepto de la ley científica y sus relaciones con la ciencia histórica y no histórica son cuestiones discutidas que requieren aclaración. La palabra "ley" ha sido tan variada y tan vagamente utilizada en la ciencia, que no es muy clara a menos que se dé una definición explícita y restrictiva. El diccionario que tengo a mano (Barnhart, 1948) la define de acuerdo con el uso filosófico o científico como "la manifestación de una relación o sucesión de fenómenos invariables bajo las mismas condiciones". Es satisfactoria si aclara que también se aplica a los fenómenos que son en sí mismos variables: la *relación* (o sucesión, también una relación) es la invariable. Con la frase, "bajo las mismas condiciones", se desea indicar que si están presentes otras variables, lo están por añadidura y no inextricablemente implicadas con las especificadas en la ley. Además de eso, aunque la relación quizá está implícita, se requiere que sea explícita para que sea manifestable o repetible en una forma periódica indefinidamente. Una relación que pudo ocurrir o que ocurrió una sola vez, sería, en realidad, invariable, pero con toda seguridad no sería una ley en el amplio sentido científico. Con estas consideraciones, la ley podría definirse enunciándola de

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES

esta manera: una ley científica es una relación periódica, repetible, entre variables aunque en sí misma es invariable al grado de que los factores que la afectan están explícitos en la ley.

La definición implica que una ley válida incluya todos los factores que actúan *necesariamente* en asociación. El hecho de que la fricción del aire afecte en forma significativa la aceleración de un cuerpo que cae en la atmósfera, no invalida la ley de la gravitación universal, sino solamente muestra que sobre el cuerpo está obrando, separadamente, algún factor definido por otra ley. La fricción y los factores de la aceleración gravitacional son independientes. Ambas leyes son válidas y pueden combinarse en una ley compuesta válida. Pero si algún factor, *necesariamente* implicado en cualquiera de ellas, como el de la fuerza de la gravitación para la aceleración o el del área para la fricción, fuera omitido, la ley sería invalidada.

Las leyes, definidas en esta forma, son generalizaciones, pero de una clase muy especial. Son abstracciones completas de los casos individuales. Ni siquiera les conciernen, aunque sea en parte, los casos individuales que tienen algo en común, en la forma de generalizaciones o definiciones descriptivas, como por ejemplo la de que todos los péndulos son cuerpos movibles suspendidos de un punto fijo, la de que todas las arcosas son rocas sedimentarias que contienen feldespato o la de que todos los vertebrados son animales que tienen un espinazo articulado. Estas generalizaciones y otras semejantes evidentemente no pueden utilizarse como leyes. Por ejemplo, cuando decimos que la arcosa es una roca sedimentaria feldespática, simplemente queremos dar a entender que estamos de acuerdo en que, si una roca suele ser sedimentaria y dentro de cierta variación de textura y de composición se incluye un feldespato, la llamaremos "arcosa". Con esto no pensamos que la naturaleza del universo sea tal que deba existir una relación inherente, entre las rocas sedimentarias y los feldespatos reducible a una constante. Las leyes son inherentes, esto es, *inmanentes*, en la naturaleza de las cosas como si estuviesen separadas enteramente de las configuraciones contingentes, aunque siempre actúan sobre estas configuraciones.

Hasta hace poco, la estructura teórica de las ciencias físicas no históricas, consistía principalmente de un cuerpo de leyes o leyes supuestas de esta clase. El prestigio de estas ciencias y su éxito al descubrir leyes semejantes, fueron *tales* que comúnmente se creyó que la propia meta científica de las ciencias históricas era también la de descubrir leyes. Las leyes supuestas se propusieron en todas las ciencias históricas. Por vía de ejemplo, en mi propio campo, la paleontología, puedo mencionar la "ley de Dollo", la de que la evolución

es irreversible; la "ley de Cope", la de que los animales se hacen más grandes en el curso de la evolusión; y la "ley de Williston", la de que las estructuras seriales repetitivas en los animales se desenvuelven en tal forma que se hacen menos numerosos pero más diferenciados. La mayoría de estas leyes supuestas no son más que generalizaciones descriptivas. Por ejemplo, los animales invariablemente no se hacen más grandes con el tiempo. La ley de Cope simplemente generaliza la observación de que ésta es una tendencia frecuente, sin establecer una relación fija entre las variables posiblemente implicadas en este proceso.

Aun cuando parece que está establecida una relación, las llamadas "leyes históricas" están casi siempre abiertas a las excepciones. Por ejemplo, Rensch (1960), un evolucionista convencido de la validez de las leyes históricas, considera a la "regla de Allen" como una ley: la de que cuando los mamíferos se adaptan a los climas más fríos, sus patas se hacen más cortas. Pero de los mamíferos reales estudiados por él, 36% fueron excepciones a la "ley". Rensch explica este fenómeno suponiendo que "muchas de las leyes especiales actúan al unísono o se interfieren entre sí. De esta manera "resultan las 'excepciones' a la ley". Esta es una posibilidad hipotética, pero confiar en ella es un acto de fe. Las leyes que se "interfieren" son desconocidas en estos ejemplos o en otros similares. Una segunda posibilidad es de que las leyes así establecidas no son válidas como leyes debido a que han omitido factores que deben estar implicados necesaria e inherentemente. A mi juicio, esto es cierto, no en el sentido de que tenemos que completar únicamente el análisis y en esta forma derivar una ley completa y válida, sino en el sentido de que las omisiones invalidan el concepto verdadero de la ley histórica.

Sigo afirmando que el reconocimiento de las leyes históricas está equivocado en principio. Las leyes se aplican, según la definición del diccionario, "bajo las mismas condiciones", o, de acuerdo con mi enmienda, "al límite en que los factores que afectan la relación están explícitos en la ley", o como diríamos en el lenguaje común, "siendo iguales las otras cosas". Pero en la historia, que es una sucesión de acontecimientos individuales reales, nunca son iguales las otras cosas. Los eventos históricos, ya sea con referencia a la historia de la Tierra, a la de la vida o a la de la humanidad registrada, son determinados por las características inmanentes del universo que actúan sobre y dentro de las configuraciones particulares y nunca tan sólo por lo inmanente o por lo configuracional. Es una ley que establece las relaciones entre la longitud de un péndulo —*cualquier* péndulo— y su periodo. Dicha ley no incluye las circunstancias contingentes, la configuración, que son necesarias para la ocurrencia de un aconteci-

miento real, de acuerdo con la opinión de Galileo al observar el periodo de un péndulo en particular. Si las leyes excluyen de esta manera factores inextricable y significativamente implicados en acontecimientos reales, no pueden pertenecer a la ciencia histórica.

Además de eso, es indudable que los acontecimientos históricos son, por lo general, de una gran singularidad y debido a ello no pueden incorporarse a leyes definidas como relaciones periódicas, repetibles, aunque la repetición aparente de simples acontecimientos parece desmentirlo. Una determinada persona que está repetidamente picando o goteando una piedra parece que está realizando un acontecimiento periódico en toda su esencia pero al que realmente no puede aplicársele una ley *histórica*. La concepción de una ley de acontecimientos repetidos como los citados, conduce a una ley no histórica de relaciones inmanentes, quizá como en los casos de la gravedad y de la aceleración o quizá como en el de la neurofisiología, y no a una ley histórica que, en las circunstancias particulares de la persona que está picando cierta piedra en un momento dado, y que la gotea un número determinado de veces, sería un caso concluyente. En acontecimientos menos triviales y más complejos es evidente que las configuraciones implicadas, intrincadas en extremo, pero que son necesarias, como por ejemplo, los antecedentes de la erosión del Gran Cañón o el origen del *Homo Sapiens*, simplemente no pueden repetirse y aquí no puede haber leyes de acontecimientos de una sola clase. (Por favor guarden en su mente que las leyes inmanentes verdaderas son igualmente necesarias e implicadas en tales acontecimientos, pero persisten como no históricas; las leyes habrían actuado en forma diferente y el evento histórico, o sea el cambio de configuración, habría sido diferente si la configuración hubiese sido diferente; este elemento histórico no está incluido en las leyes operativas.)

Podría sostener mi propia definición de ley que es anacrónica y no muy aceptada en cualquiera de las ciencias no históricas. Muchas leyes de la física, consideradas como no históricas, actualmente se les atribuye una naturaleza estadística, en la que se implica una relación invariable aunque promediada. Son ejemplos las leyes antiguas sobre los gases o las nuevas leyes sobre el decaimiento radiactivo. Las leyes sobre los gases solían suponer la existencia de un gas perfecto. Ahora se admiten suponiendo que las direcciones del movimiento molecular tienden a anularse si se añaden otras y las velocidades tienden a variar a casi una velocidad media bajo las condiciones dadas. Esto no puede ser precisamente cierto para un gas real en un momento dado, pues cuando son implicadas cantidades muy grandes de moléculas en un periodo apreciable de tiempo, el resultado estadístico está tan cercano al estado descrito por las leyes de los gases,

que las diferencias no importan. En esta y en otras formas similares el descenso de lo ideal a lo real en la física se ha enfrentado no tanto por encararlo, sino para encontrar recursos para ignorarlo.

El científico histórico advierte que el gas real en un experimento real tiene atributos *históricos* que son *adicionables* a las leyes que lo afectan. Cada molécula de un gas real tiene su historia individual. Su posición, su dirección de movimiento y su velocidad en un momento dado (es decir, las partes de su configuración total) son la consecuencia de esa historia. Sin embargo, además de impráctico para los propósitos de la física, es completamente innecesario hacer el estudio histórico de un gas. Las leyes de los gases se aplican bien cuando, "siendo iguales las otras cosas", se indica que las historias simples de las moléculas tienden, como lo demuestra la observación, a producir un resultado estadístico tan cercano a lo uniforme, que lo histórico, elemento no sujeto a la ley, puede ser ignorado para los propósitos prácticos.

Las leyes inmanentes en el universo material no son estadísticas en esencia, pues actúan invariablemente en circunstancias históricas variables. La conveniencia de las estadísticas a leyes tales como las de los gases, es que suministra una descripción generalizada de las circunstancias históricas usuales en las que actúan aquellas leyes y no que ellas son inherentes en las leyes mismas. El uso de las expresiones estadísticas, no como leyes, sino como descripciones generalizadas, es común y ayuda en todo a las ciencias, especialmente a la ciencia histórica. Por ejemplo, las especificaciones estadísticas de las formas terrestres o del tamaño de los granos en los sedimentos, indudablemente que no son leyes sino descripciones de las configuraciones implicadas ahí y que surgen de la historia.

Hablar de "leyes de la historia", es equivocar la naturaleza de la historia o usar "leyes" en un sentido inaceptable, generalmente para las descripciones generalizadas más que para formulaciones de relaciones inmanentes.

Uniformismo

Por mucho tiempo se ha considerado al uniformismo como el principio básico de la ciencia histórica y la principal contribución de la geología a la ciencia y a la filosofía. En una forma o en otra penetra en el pensamiento geológico e histórico a tal grado que previamente se da por sentado y cierto. Entre quienes le han concedido recientemente una atención consciente han tenido que afrontar una gran confusión surgida de antagonismos y vaguedades para justificar la esencia de lo que es este concepto. Para algunos, el uniformismo (diversamente definido) es una ley de la historia. Otros, que sos-

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M.G.

tienen que no es una ley, han adoptado la tendencia de negar su significado. En realidad, en cualquier formulación razonable o habitual, no es una ley, aunque esto no le resta importancia. Muy a menudo se define como el principio de que el presente es la llave al pasado. Sin embargo, también esta definición es tan vaga que su aplicación no tiene objeto ni importancia. Por lo tanto, es necesario contar con una nueva definición más precisa y más clara en función de una terminología actualizada.

El uniformismo surge alrededor de los siglos XVIII y XIX, y su significado original solamente puede ser entendido en el contexto. (Los antecedentes históricos están bien respaldados en Gillispie, 1951.) Fue la reacción contra la establecida escuela del catastrofismo, la cual tuvo como base dos dogmas principales: (1) la creencia general de la intervención de Dios en la historia, por lo que incluyó sucesos naturales y sobrenaturales (milagros); y (2) la proposición particular de que la historia de la Tierra consiste, en lo principal, en una serie de grandes catástrofes consideradas por costumbre como de origen divino de acuerdo con el primer dogma. (Para una revisión histórica benévola anacrónicamente con estas creencias, véase Hooykaas, 1959.) El uniformismo, como era expresado en aquel entonces, se presentó bajo varios aspectos diferentes y no siempre se enfrentó a estos temas de discusión separada y abiertamente. Sin embargo, en conjunto, abarcó dos proposiciones contradictorias al catastrofismo: (1) la historia de la Tierra (si no es que la historia en general), puede explicarse en función de fuerzas naturales que todavía pueden observarse en la actualidad en acción y (2) la historia de la Tierra no ha sido una serie de catástrofes universales o casi universales, sino que en lo principal ha estado regida por un desarrollo prolongado, gradual —lo que llamaríamos en nuestra época una evolución (el término "evolución" no era entonces utilizado habitualmente en este sentido). Un ejemplo clásico de la aplicación de estos principios en conflicto es la creencia catastrofista de que los valles se originaron por la abertura repentina de grietas debido a una revolución ordenada por un ser supremo, lo cual está en contra de la creencia uniformista que sostiene que los valles han sido formados gradualmente por los ríos, que todavía siguen erosionando sus fondos.

Los puntos originales principales en disputa se siguen discutiendo al margen de la ciencia o fuera de ella. No obstante, para muchos geólogos ya no es necesario prestarles más atención, aunque quizá la merezcan por parte de los investigadores de la historia de la humanidad. Es una condición necesaria y en realidad forma parte de la definición de la ciencia en un sentido moderno de que solamente las explicaciones de los fenómenos materiales tienen que ser buscadas

o consideradas científicamente defendibles y el hecho de aceptar este principio (o limitación, como ustedes prefieran) que llegó a las ciencias históricas mucho después que a las no históricas, es interesante y significativo, puesto que para la geología histórica fue la conclusión más importante de la controversia uniformismo catastrofismo. Para la biología histórica también se derivó este principio de la controversia darwiniana, aunque llegó más tarde. Dicho principio ha logrado arraigarse con dificultad hasta nuestros días. (Todavía está muy lejos de conseguirlo entre los profanos.)

En lo que respecta al segundo punto principal originalmente implicado en el uniformismo, no hay una razón *a priori* o una razón filosófica para descartar una serie de catástrofes universales *naturales* como dominante en la historia terrestre. Sin embargo, esta suposición está sencillamente en desacuerdo total con cada cosa de las que ahora sabemos de la geología histórica, que es para tenerse como algo increíble. Los únicos temas de discusión aún válidos, implican la forma en que han actuado en el pasado los procesos naturales, todavía observables, y el sentido que toma el aforismo de que el presente es la llave al pasado. El uniformismo o neouniformismo, cuando se aplica a estos temas toma muchas formas; entre ellas, dos extremas cuya invalidez puede demostrarse hasta de una manera divertida en un intercambio de comunicaciones entre Lippman (1962) y Farrand (1962).

Lippman, uno de los neocatastrofistas todavía vocifera al margen de la ciencia geológica, ataca al uniformismo en la suposición de que su actual forma "ortodoxa" es un gradualismo absoluto, es decir, la creencia de que los procesos geológicos *siempre* han actuado gradualmente y que los cambios catastróficos nunca han ocurrido al ritmo y extensión que se les ha supuesto. Farrand, quien quizá permitiría que se le llamara un geólogo "ortodoxo", demuestra que Lippman se ha erigido en una nulidad. Las catástrofes actualmente ocurren y si ocurrieron en el pasado más bien son el ejemplo y no la contradicción de un principio de uniformidad. Acontece que no hay una prueba válida que demuestre que siempre han ocurrido aquellas catástrofes de la clase y de la extensión sostenidas por los catastrofistas originales y por Lippman, o que al menos hubiese la posibilidad de que proporcionaran explicaciones para algunos de los fenómenos reales como los que reclaman. Sin embargo, esto último es un caso diferente. Farrand expresa el uniformismo mediante un entendimiento común, probablemente el que se acostumbra en la actualidad, en la forma siguiente: "El concepto del geólogo es que los procesos que han actuado sobre la Tierra en épocas pasadas son los *mismos* que operan hoy en día a la *misma escala* y aproximadamente a los *mismos*

ritmos". Pero a este principio también parece contradecirlo la historia geológica. Algunos procesos (por ejemplo, como los del vulcanismo o los de la glaciación), evidentemente han actuado en el pasado a escalas y a ritmos que no es posible considerar que sean "los mismos" o cuando menos "aproximadamente los mismos" en relación con los actuales. Algunos procesos del pasado (tales como los de la formación de los mantos de corrimiento alpinos) al parecer, no están actuando en nuestros días, al menos no en la forma que actuaron antes. Hay innumerables excepciones que desaprueban la regla.

Entonces, ¿cuál de los principios de la uniformidad es válido e importante? La distinción entre inmanencia y configuración (o contingencia) señala, con toda claridad, hacia uno de ellos: el postulado de que las características inmanentes del universo material no han cambiado en el curso del tiempo. Gracias a este postulado existen actualmente todas las características inmanentes que, en principio, pueden ser observadas o, más precisamente, inferidas como generalizaciones y como leyes de las observaciones. Es en este sentido que el presente es la llave al pasado. Las propiedades y relaciones inmanentes actuales permiten hacer la explicación de la historia precisamente porque ellas *no* son históricas. Ellas son inmutables, lo que ha cambiado son las configuraciones. Las configuraciones pasadas nunca fueron iguales a como son ahora, y a menudo fueron muy diferentes. Dentro de estas configuraciones diferentes, las características inmanentes han trabajado a escalas y a ritmos diferentes en distintas épocas, combinándose en algunas ocasiones con diferentes procesos complejos distintos a los que están en acción en nuestros días. La uniformidad de las características de lo inmanente ayuda a explicar el hecho de que la historia no es uniforme (aun podría decirse que el uniformismo vincula a las catástrofes, pero la paradoja resulta engañosa si se omite del *contexto*.) Solamente que las configuraciones pasadas alcancen cierto grado de semejanza con las del presente en lo tocante a los rasgos esenciales, puede aceptarse que los procesos del pasado han trabajado en una forma similar.

Aquellas características inmanentes que son inmutables pueden parecer a primera vista como una cuestión de definición o una conclusión evidente, pero no se trata de ninguna de las dos cosas. La gravedad sería inmanente (una característica inherente de la materia *actual*) aun cuando haya cambiado la ley de la gravedad, y es imposible comprobar que permaneció inalterable. La uniformidad, en este sentido, es un postulado no demostrado que se justifica, o bien, que es necesario realmente, por dos razones. La primera, que nada de nuestro incompleto, aunque extenso conocimiento de la historia, está en desacuerdo con él. Segundo, solamente con este postulado

es posible efectuar una interpretación racional de la historia y se justifica que exijamos —y como científicos *debemos* buscar— tal interpretación racional. Apoyándome en estas bases es como he supuesto en las páginas anteriores que lo inmanente es inmutable.

Explicación

La explicación es una respuesta a la pregunta "¿por qué?" Pero, como Nagel (1961) señala finalmente, ésta es una pregunta ambigua que exige fundamentalmente diferentes *clases* de respuesta en varios *contextos*. Una clase de respuestas especifica la necesidad inherente de una proposición y éstas son las respuestas que se incorporan a las leyes. Algunos filósofos insisten en que ésta es la única forma legítima de la explicación. Algunos (por ejemplo Hobson, 1923) van más lejos, llegando a sostener que, puesto que la necesidad inherente no se puede *probar*, no hay tal explicación científica. Nagel demuestra que todo esto es, al menos en parte, una simple cuestión de hábito lingüístico en grado tal que ni importa ni interesa. La única cuestión importante consiste en saber a cuál de las explicaciones se debe considerar como universal o como contingente. El citado autor demuestra después con ejemplos (diez de ellos en su Cap. 2), que las explicaciones contingentes son válidas cualquiera que sea el sentido usual y propio de la palabra "explicación". Pero no discute el tema en forma justa y hace otras distinciones que no son oportunas en este contexto, pero en esencia esta distinción entre la explicación universal y la contingente se confronta, por un lado, entre inmanencia y la ciencia no histórica con sus leyes y, por el otro, entre la configuración y la ciencia histórica que, aunque no implica leyes también tiene sus explicaciones.

La cuestión "¿por qué?" puede dividirse en otras tres, invocando cada una un tipo diferente de explicación como lo han discutido Pittendrigh (1958) y Mayr (1961), entre otros. ¿Cómo? es el problema típico de las ciencias no históricas el cual demanda saber cómo operan las cosas, por ejemplo, cómo erosionan las corrientes a los valles, cómo se forman las montañas, cómo digieren los animales el alimento. Todas estas cosas se originan en función de los procesos físicos y químicos implicados. La primera etapa hacia una explicación de esta clase es generalmente una descripción generalizada, pero las respuestas que pueden tenerse como completas dentro de esta categoría se expresan finalmente en forma de leyes que incorporan relaciones invariables entre fenómenos variables. En este nivel los científicos de las ciencias no históricas no solamente se inician sino que también comúnmente se detienen.

Sin embargo, estos científicos van en busca de un segundo tipo de explicación que es igualmente científica e inquieren sobre un segundo problema, que es un problema parcial, el de "¿Cómo sucedió?" ¿Qué fue lo que sucedió para que el río Colorado formase el Gran Cañón, para que las cordilleras surjan a lo largo del borde de un continente o para que los leones vivan de las cebras? Otra vez la aproximación general es descriptiva, el relato de la historia natural de los cambios en las configuraciones, ya sea individual, como la del Gran Cañón o generalizada, hasta cierto punto, como la evolución concurrente de los leones y las cebras. Por supuesto, esto ya es una forma de explicación pero una explicación completa en este nivel más complejo se alcanza únicamente por una combinación de los cambios de configuración con los procesos y propiedades inmanentes presentes en ellos e implicados en aquellos cambios. Uno no explica adecuadamente al gran Cañón, ya sea mediante la descripción de la estructura de aquella área y los cambios que sufrió durante el Cenozoico o bien enumerando las leyes físicas y químicas comprendidas en la erosión, sino por una combinación de las dos.

Hay otros dos tipos de explicaciones científicas que deben mencionarse por su integridad aunque se introducen a la geología en grado limitado por mediación de la paleontología aunque directamente son más biológicas y psicológicas. Ambas son tipos de respuestas a la pregunta "¿Para qué?" que es inapropiada a las ciencias físicas o a los aspectos físicos (del ¿Cómo?) de las otras ciencias históricas o no históricas. ¿Por qué cae una piedra? o ¿Por qué fue formado el Gran Cañón? (en el sentido de ¿Para qué existe esto actualmente?) son preguntas que no tienen sentido para el científico moderno. Sin embargo fueron contestadas por los científicos primitivos (principalmente Aristóteles) y aún son contestadas por profanos y pseudocientíficos. El surgimiento de la ciencia física moderna exigió el rechazo de estas formas de explicación y los físicos insistieron en que *nunca debieron* ser contestadas. Dentro de su esfera les asiste el derecho, pero esta clase de preguntas son legítimas y necesarias en las ciencias de la vida.

Una pregunta que tenga como base el "¿Para qué?", por ejemplo ¿Para qué les sirven las alas a los pájaros?, tiene una respuesta llamada teleológica. Que ellas son una adaptación para el vuelo es una respuesta apropiada y una explicación parcial cercana al nivel descriptivo. Una explicación completa es histórica: gracias a una secuencia de configuraciones en los animales y en los ambientes fue posible la aparición de las alas que tuvieron una función ventajosa y así evolucionaron a través de una selección natural. Es factible que se efectúe una historia de tal naturaleza en sistemas que poseen

mecanismos de realimentación y un depósito de información característicos de los organismos y esta clase de explicación es inaplicable por completo a sistemas inorgánicos (u otras configuraciones). La pregunta ¿Para qué? también puede ser contestada teleológicamente en función del propósito, explicando una secuencia de acontecimientos como un medio de alcanzar una meta. A pesar de Aristóteles y del neotomismo, esta forma de explicación es científicamente legítima con la condición de que se prevea una meta. Por lo tanto, es aplicable únicamente al comportamiento de los humanos, con una incertidumbre creciente, y algunos otros animales.

La pregunta ¿Cómo llegó? es peculiar a la ciencia histórica y necesaria en todos sus aspectos. Las respuestas a estas preguntas son *las* explicaciones históricas. Sin embargo, la explicación de la historia completa requiere *también* explicaciones breves (no históricas en sí mismas) que salen a la luz por el "¿Cómo?". Las explicaciones mediante leyes finalistas también son peculiares a la ciencia histórica aunque solamente para aquella parte que trata con la historia de los organismos.

Ensayos y arte de la predicción

Todas las ciencias se apoyan sobre postulados que no son demostrables en el sentido más estricto. La uniformidad de lo inmanente, previamente discutida, es únicamente uno de tales postulados aunque quizá el más importante para la ciencia histórica. En realidad, puede afirmarse que no solamente los postulados, sino también las conclusiones de la ciencia, incluyendo sus leyes y otras teorías, no son estrictamente demostrables. La prueba en un sentido absoluto solamente ocurre en las matemáticas o en la lógica cuando se demuestra que una conclusión puede ser contenida tautológicamente en axiomas o premisas. Puesto que estas disciplinas no están directamente interesadas con la verdad o probabilidad de los axiomas o de las premisas, y de aquí que tampoco lo están con las conclusiones deducidas de ellas, sus pruebas son triviales para la filosofía de las ciencias naturales. En estas ciencias, el punto esencial es la determinación de la probabilidad de las premisas mismas, y las matemáticas y la lógica únicamente suministran métodos para llegar correctamente a aquellas implicaciones contenidas en esas premisas. A pesar del concepto vulgar de "probar una teoría", el cual en algunas ocasiones se insinúa en la literatura científica, debe tenerse la costumbre cautelosa de nunca hablar de pruebas en este sentido, sino únicamente la de establecer ciertos grados de seguridad.

En las ciencias no históricas el ensayo de una proposición, esto es, el intento por modificar el grado de seguridad que se les ha otor-

gado, por costumbre tiene una forma general. Se formula una relación posible entre los fenómenos sobre la base de las observaciones previas. Con esta formulación como premisa, las implicaciones en cuanto a los fenómenos aún no observados, son alcanzadas por deducción lógica. En otras palabras se ha hecho una predicción a partir de una hipótesis. De esta manera se planea un experimento con el fin de determinar dónde ocurren los fenómenos pronosticados. La premisa así como las relaciones, la hipótesis, a menudo tienen las características de una ley aunque pueden expresarse en otros términos. A medida que aumenta la seguridad (nada se observa contrario a la predicción) pasan a ser una teoría la cual simultáneamente explica los fenómenos pasados y predice los futuros.

Los físicos (por ejemplo, Connant, 1947) por lo común sostienen o dan por sentado que éste es el paradigma de la comprobación ("verificación" o aumento de seguridad) para la ciencia, en general. Sobre este principio algunos filósofos y los *dialécticos* de la ciencia (principalmente Hempel y Oppenheim, 1953) han llegado a la conclusión de que son inseparables la explicación científica y la predicción. La explicación (en este sentido) es una correlación del pasado y del presente y la predicción es una correlación del presente y del futuro. El tiempo no interesa, sosteniéndose que las características lógicas de las dos son las mismas. Son simplemente dos estados de las mismas relaciones. Esta conclusión, estrictamente definida, probablemente es válida cuando es aplicada a las leyes científicas en los aspectos no históricos de la ciencia. Según lo expresado previamente, quizá tenga una amplia validez, aunque no completamente general, en las explicaciones del "¿Cómo?" No obstante, hemos visto que hay otros tipos de explicaciones científicas y que algunas son más a propósito para las ciencias históricas. No puede suponerse y en realidad se encontrará que es falso que sea válida en la ciencia histórica la paridad de la explicación y la predicción.

Scriven (1959 y comunicación personal) ha discutido este tema *in extenso*. Uno de sus puntos (expuesto con diferentes palabras) es que la explicación y la predicción no son necesariamente simétricas, que en algunos casos no es posible aplicarles un principio de paridad. Parte del argumento se puede parafrasear como sigue: Si X siempre es precedida por A, entonces A es una causa y una explicación parcial, al menos, de X. Pero A puede ser no siempre seguida por X. Por lo tanto, aunque A explica a X cuando X ocurre, no es posible predecir la ocurrencia de X a partir de A. Un simple ejemplo geológico (no de Scriven) se refiere a que la erosión es la causa de los valles, aunque no puede predecirse que porque existe la erosión

forzosamente será formado un valle. De hecho puede ocurrir todo lo contrario, es decir, que la erosión borre los valles.

El ejemplo también ilustra otro de los puntos de Scriven (otra vez, con diferentes palabras). El fracaso de la predicción se debe al hecho de que la erosión (A) es únicamente la causa parcial de los valles (X). Es una causa inmanente (compleja) y hemos omitido la causa configuracional. La erosión siempre es seguida por la formación de un valle, A es seguida por X, *si* afecta ciertas configuraciones. La causa total, como en todos los acontecimientos históricos, comprende tanto elementos inmanentes como configuracionales. Además, parece que la predicción es posible en la ciencia histórica, hasta cierto punto y bajo ciertas condiciones. Si se conocen la causalidad inmanente y las similitudes necesarias de las circunstancias configuracionales y además son periódicas, es posible la predicción.

La posibilidad de predecir el futuro a partir del pasado, es, sin embargo, extremadamente limitada en la práctica e incompleta aun en principio. Parece que son cuatro las principales razones para estas limitaciones. Mayr (1961) las ha discutido en relación con los aspectos históricos de la biología y con algunas modificaciones sus análisis pueden extenderse a la ciencia histórica en general.

(1) Una causa necesaria pero insuficiente no es posible correlacionarla positivamente con el resultado o acontecimiento acostumbrado, lo cual está relacionado con la asimetría de la explicación y la predicción ya discutida y que también Scriven la discute, pero con otras palabras (1959). El ejemplo de Scriven es que la parálisis general es causada por la sífilis aunque muchos sifilíticos no son paralíticos. Una modificación del ejemplo de Mayr es que la mutación es una causa necesaria para el cambio evolutivo, pero dicho cambio raramente sigue la dirección de las mutaciones más frecuentes. Un ejemplo geológico podría ser el de que el vulcanismo es esencial para la formación de las mesetas de basalto, pero que tales mesetas no son el resultado acostumbrado del vulcanismo.

(2) El interés filosófico de la razón precedente para lo impredecible histórico es reducido por el hecho de que el resultado podría llegar a ser predecible, en principio, si *todas* las causas necesarias fueran conocidas. Pero tan pronto como introducimos una configuración como una de las causas necesarias, lo cual siempre debe hacerse en la ciencia histórica, la situación puede tornarse imposible muy a menudo y extremadamente complicada. La predicción es posible hasta donde puede ser establecida la correlación con elementos adecuados, compendiados, generalizados y periódicos en las configuraciones. Conceptos como nivel base, pendiente, precipitación y otros rasgos configuracionales pueden ser generalizados hasta donde

permitan hacer la predicción de que se formará *un* valle. Sería sumamente difícil especificar todos los factores de la configuración, mucho más complejos, que se requieren para predecir la forma exacta de un valle en particular, que es un acontecimiento histórico real. En tales casos puede ser posible, como Scriven ha señalado en diferentes contextos, reconocer *a posteriori* los detalles configuracionales responsables de las características particulares del valle propiamente dicho, aun cuando estas características no fuesen prácticamente pronosticables. Esta razón de lo impredecible, por supuesto, tiende a ser más importante mientras más complejo es el sistema implicado. Tanto Scrive como Mayr enfatizan que esta razón puede hacerse prácticamente insuperable en los sistemas orgánicos complejos en extremo implicados en la evolución y sin embargo no hace inexplicable a la evolución. Aun en el ejemplo físico, extremadamente simple de las leyes de los gases, es evidentemente imposible en la práctica y con toda probabilidad también en principio (a causa de las limitaciones de las observaciones simultáneas de posición y de movimiento) determinar las configuraciones históricas individuales de todas las moléculas individuales de tal manera que es un hecho impredecible el resultado *preciso* de un experimento en *particular*.

En este ejemplo, las complicaciones pueden eliminarse virtualmente y en la ciencia histórica, al menos, son aligeradas por la presentación de especificaciones de causas configuracionales sobre una base estadística. Sin embargo, esto todavía puede aumentar más la asimetría de la explicación y de la predicción. En el caso del ejemplo previamente citado, Scriven señala que la única predicción *estadística* válida es la de que la sífilis no produce parálisis; en otras palabras, que la causa necesaria de un resultado particular *no* tendrá aquel resultado. Como un hecho histórico, si un sifilítico se convierte en un paralítico, no fue predecible el acontecimiento, ni siquiera en principio. Aquí el caso es oportuno debido a que demuestra que la aproximación estadística no elimina el efecto de la complicación configuracional en la hechura de acontecimientos históricos no pronosticables.

(3) A medida que los sistemas configuracionales se hacen más complejos adquieren características que están ausentes en los componentes más simples de estos sistemas y evidentemente no pueden predecirse a partir de éstos. Es el fenómeno de emergencia que se discute frecuentemente. El ejemplo físico clásico es el de las propiedades del agua que pueden ser explicables pero no pronosticables por las del hidrógeno y las del oxígeno. De nueva cuenta lo impredecible aumenta con las complicaciones configuracionales. Es difícil concebir la predicción desde los átomos componentes hasta una cordillera montañosa y para mí, al menos, la predicción desde los átomos hasta, digamos, la caída de Roma, es completamente inconcebible. Podría alegarse que la predicción de los fenómenos emergentes sería posible si realmente *conociésemos* todo lo relacionado con los átomos. Esto podría ser justo posiblemente y sólo en principio, para ser una verdad en la ciencia no histórica, como en el ejemplo de $2H + O \rightarrow H_2O$. Sin embargo sería una verdad en la ciencia histórica si conociésemos todas las propiedades inmanentes y *también* todas las historias configuracionales de todos los átomos lo cual es sin duda imposible en la práctica y probablemente en principio. Queramos o no, la predecibilidad de los fenómenos emergentes es una posibilidad filosófica (y yo me inclino a pensar que no lo es), que parecería tener poco valor heurístico y ninguno pragmático.

(4) La predicción científica depende de lo periódico y de lo repetitivo. La predicción de acontecimientos singulares es imposible ya sea en la práctica o en principio. Los acontecimientos históricos son siempre únicos en cierto grado y por lo tanto nunca son exactamente predecibles. Sin embargo, como ya ha quedado asentado antes, hay diferentes grados de singularidad y de esta manera los acontecimientos históricos pueden considerarse predecibles en principio y hasta donde sean similares sus causas. (Esta es una limitación significativa solamente para las causas configuracionales, pues por el postulado de la uniformidad, las causas inmanentes no son simplemente similares, sino idénticas.)

En la práctica, se imponen además severas limitaciones por las dificultades para establecer las similitudes de causa que son oportunas para los acontecimientos y para observar estos factores causales. También debe enfatizarse de nueva cuenta que tal predicción sólo puede ser general y no particular. En otras palabras, la predicción no incluye cualquier aspecto singular del acontecimiento y en la ciencia histórica son a menudo los aspectos singulares los que requieren una mayor explicación. Podría suponerse, por ejemplo, que uno sería capaz de proporcionar una explicación predecible para la formación de montañas (aunque de hecho, esto todavía no lo han hecho los geólogos) y también para las explicaciones de los rasgos particulares, digamos de los Alpes (ejecutado en pequeña parte), pero estas explicaciones no serían predecibles. (Esto también es un ejemplo del hecho de que la explicación adecuada impredecible puede ser más fácilmente ejecutada que la explicación general predecible.)

En este punto uno desearía presentar la cuestión de lo que es interesante o lo que es significativo en una investigación científica. En el estudio físico de los gases o de los granos de arena, la indivi-

BIBLIOTECA

dualidad (singularidad) de las simples moléculas o granos, que es de poca importancia en cualquier caso, generalmente está fuera de cuestión. Al tratar con los eventos históricos como los de la formación de una arenisca en particular o de una cordillera montañosa, la individualidad es justamente el tema que menos se trata. Aquí, entre paréntesis, son oportunos otros aspectos y otros usos de las aproximaciones estadísticas. Una descripción estadística de la variación en los granos de arena o de elevaciones, de pendientes, etc., en una cordillera montañosa, es un medio práctico de tomar en cuenta sus contribuciones únicas a toda la individualidad de la arenisca o de la cordillera montañosa.

Otros dos aspectos de la predicción y la explicación en la ciencia histórica pueden ser considerados con más brevedad: el uso de modelos y la predicción de lineamientos y ciclos. Los acontecimientos geológicos pasados no pueden ser repetidos a voluntad y además, la predicción pierde significado práctico si, como es a menudo el caso en la geología, su ejecución completa requeriría de algunos miles o millones de años. Esto es lo racional para la aproximación experimental que utiliza modelos físicos para estudiar los aspectos históricos de la geología y, cuando es posible, los de otras ciencias históricas. Los modelos ideales que se ha supuesto son los esenciales para las similitudes configuracionales generales de los acontecimientos históricos (plegamiento y fallamiento, erosión de los valles y otros parecidos) y la escala de los mismos en el espacio y en el tiempo están hechos en tal forma que pueden repetirse a voluntad y a ritmos que permitan la observación. Con tales modelos pueden hacerse y comprobarse las explicaciones predecibles. (Los problemas posteriores de proyectar el modelo al espacio y al tiempo geológico, no serán considerados aquí.)

Finalmente, la forma más común adoptada para los ensayos de la predicción histórica real es la extrapolación de lineamientos. De hecho, esta aproximación no tiene validez filosófica y sí un poco de validez pragmática. Su justificación filosófica requerirá que las causas contingentes sean inmutables o que cambien siempre de la misma manera y cuya observación muestre cuando sean verdaderamente falsas. Su grado de justificación pragmática depende del hecho de que existan los lineamientos y ciclos y (por definición) que continúen a través de considerables periodos de tiempo. Por lo tanto, cuando los tiempos están distribuidos al azar y han sido establecidos los lineamientos y los ciclos es más probable que sean continuos a que no lo sean. Las predicciones a través de la extrapolación de lineamientos son útiles para la mayor parte de variaciones cortas de tiempo; para variaciones más grandes su probabilidad disminuye

hasta que la predicción estadística apropiada no se convierte en la continuación sino en la terminación o cambio del lineamiento o ciclo dentro de algún tiempo especificado. El periodo de continuación probable o extrapolación justificable, por lo tanto, es reducido grandemente por el hecho de que un lineamiento o ciclo debe haber continuado por un tiempo considerable a fin de reconocer que realmente existe. El conocimiento actual de la historia geológica y biológica (evolutiva) sugiere que todos los lineamientos y ciclos conocidos, de hecho, han finalizado o cambiado, excepto aquellos que todavía están dentro del espacio de la probabilidad indicado estadísticamente por lineamientos y ciclos del pasado. Sin embargo, muchos ejemplos supuestos, tales como los ciclos regulares de construcción de montañas o de lineamientos para el aumento en el tamaño de los macairodontos, dientes de sable, ahora parecen estar equivocados. Muchos lineamientos y ciclos reales han resultado también no ser tan uniformes ni tan largamente continuados como se supuso en un principio, frecuentemente bajo la influencia de "leyes" históricas inválidas tales como la de la ortogénesis o del pulso de la Tierra. Es improbable que la predicción acerca de una situación histórica total sólo se justifica siempre sobre esta base aun cuando la predicción de las propiedades y configuraciones causales es posible dentro de estos límites.

El método en la ciencia histórica

La secuencia hipótesis-predicción-experimento, no es el único método de la explicación y del ensayo en la ciencia física no histórica. Sin embargo, por lo común es apropiada y útil en cuanto a que los filósofos, quienes basan sus conceptos de ciencia sobre la ciencia física, tal y como lo hace la mayoría, tienden a considerarla más bien como algo ideal y no como algo obligatorio. (En relación a este punto de vista véase, como un simple ejemplo entre otros muchos, a Braithwaite, 1953.) Este es un ejemplo de la hegemonía existente de las ciencias físicas, la cual no es justificable, lógicamente, pero que ha sido fomentada por factores históricos humanos y pragmáticos. Se ha demostrado que este método también es dable en la ciencia histórica aunque en ella juega un papel más pequeño y menos exclusivo. Debe ser complementado y con frecuencia reemplazado por otros métodos. En parte éstos están implícitos como ya se ha dicho. Pero se advierte que algunos de los más importantes permanecen como el propósito final de este ensayo. Una finalidad es la de demostrar más amplia y claramente que las explicaciones y ensayos no predecibles, de hecho son posibles en la historia geológica y en otras ciencias históricas.

Los datos fundamentales del científico histórico consisten en descripciones de configuraciones parciales casi al nivel de la historia natural. Si las configuraciones están en forma de sucesión y relacionadas entre sí, esto es, si las más tardías, históricamente, surgen de las del principio, el antecedente puede considerarse incluido, al menos en parte, y las causas y requisitos configuracionales en el consecuente. Aun en circunstancias tan simples puede suponerse, por lo común, una relación causal directa en base a los principios desarrollados o en base a los parangones conocidos. Por ejemplo, la causalidad configuracional parcial está implicada evidentemente en la secuencia *Hyracotherium* (Eohippus)-*Orohippus* o arena-arenisca. El último ejemplo añade un punto importante: la configuración inicial de un estrato que ahora es una arenisca no se observa realmente sino que se infiere de ésta. Los ejemplos ilustran dos clases de secuencias explicativas útiles al científico histórico. En una hemos fechado documentos contemporáneos con los acontecimientos y por lo mismo son directamente históricos tanto en naturaleza como en secuencia. En el otro tenemos una secuencia pseudohistórica de aquellas arenas y areniscas que ya existen. Sus asociaciones y diferencias son tales que podemos confiar que algunos de sus elementos han participado de cambios históricos porque unos los han sufrido más que los otros. En este caso es fácil ver que las areniscas pertenecen a un periodo final en la serie pseudohistórica. Por lo tanto, uno puede inferir para esta serie una arena antecedente históricamente y se puede proceder a determinar qué características son heredadas de aquella arena y la naturaleza de los cambios subsecuentes.

El uso de las series pseudohistóricas es otra forma de manifestarse el aforismo en el que el presente es la llave al pasado, aunque no implica otro principio de uniformidad. La adición al elemento de la uniformidad, de las características inmanentes, es simplemente una semejanza o una generalización descriptiva de la configuración aplicable al caso particular, la cual viene a ser un problema de observación. En la práctica, una interpretación histórica implica, por lo común, series históricas y pseudohistóricas. Por ejemplo, al estudio de la estratigrafía de una región dada, le concierne simultáneamente la serie histórica de estratos en forma directa y la historia de cada estrato desde el depósito (o antes) hasta su actual condición como es inferido en base a las series pseudohistóricas apropiadas.

Una segunda forma de método tiene una cierta analogía con el empleo de los experimentos múltiples con variables controladas. El método consiste en comparar series diferentes, ya sea históricas o pseudohistóricas que se asemejen entre sí en forma oportuna. Las semejanzas en las configuraciones antecedentes pueden considerarse

que incluyen causas de las semejanzas consecuentes. Sin embargo, no es legítimo suponer que todas son causas necesarias o que incluyen causas suficientes. Es a veces más importante aún el principio inverso, según el cual, los factores que difieren entre los antecedentes no son las causas de las semejanzas entre los consecuentes. Cuando por eliminación se comparan muchas series, se garantiza la conclusión de que las semejanzas antecedentes residuales son causas necesarias. Aquí se puede aplicar un principio de comprobación científica en general: la prueba absoluta de una hipótesis o de otra forma de deducción es imposible, pero la refutación sí es posible. La seguridad aumenta con el número de oportunidades para refutar, pues de hecho no tenemos discrepancias manifiestas. En esta aplicación, la confianza de que las semejanzas residuales son causales aumenta con el número de series diferentes implicadas en la comparación. Este método es aplicable a muchas series geológicas, algunas de las cuales son singulares en *todas* sus relaciones. Ejemplos obvios e importantes incluyen la formación de geosinclinales, su plegamiento subsecuente o muchos fenómenos periódicos como las consecuencias estratigráficas de avances y retiradas del mar.

Un caso interesante especial surge cuando hay más semejanza entre las configuraciones consecuentes que entre las antecedentes: el fenómeno de la convergencia. Este fenómeno ha recibido mucha más atención en el estudio de la evolución orgánica que cualquier otro, aunque también han ocurrido ejemplos inorgánicos. Si estoy bien informado el origen de varios granitos de antecedentes muy diferentes es un ejemplo notable. Otro buen ejemplo podría ser el origen de formas terrestres, más o menos similares por procesos diferentes: por ejemplo la formación de montañas por plegamiento, por fallamiento o por erosión de una meseta; o el desarrollo de planicies y terrazas por erosión o por depositación. Indudablemente los geólogos pueden encontrar otros ejemplos de acuerdo con su especialización. El interés metodológico especial de la convergencia es que su eliminación de los factores no causales comúnmente suministra confianza en la identificación de causas aumentando el conocimiento de ellas. En la evolución orgánica ha aumentado con mucho la comprensión de la naturaleza y de los límites de adaptación por la selección natural. En el ejemplo de los granitos muestra que un antecedente esencial no es algún tipo de litología sino la composición atómica y la minuciosidad para investigar los procesos que causan esta clase particular de configuración de los átomos.

Se ha señalado previamente que las explicaciones de un acontecimiento histórico implican tanto la configuración como la inmanencia aun cuando la naturaleza de esta última no es histórica. Por

lo tanto, la ciencia histórica requiere del conocimiento de factores inmanentes oportunos y su método incluye distinguir los dos y estudiar sus interacciones. La ciencia no histórica por su interés primario por lo inmanente es la fuente principal donde el historiador adquiere el conocimiento necesario acerca de los factores inmanentes y el medio principal para distinguirlos es valerse de las relaciones configuracionales. Una aproximación típica es aquella en la que se hacen variar las confuguraciones en los experimentos y en esta forma determinar qué relaciones son constantes a través de todas las variaciones configuracionales. Para el geólogo histórico, la función de un geólogo físico consiste en aislar y caracterizar las propiedades inmanentes de la Tierra y sus partes en ésta y en otras formas; su interés radica no en lo que contiene la verdad, indistintamente de la configuración, sino cómo las configuraciones modifican la acción de las propiedades y fuerzas inmanentes identificadas. En esta relación, al científico no histórico le interesan más las similitudes y al científico histórico las diferencias.

Al llegar aquí vemos que el científico histórico tiene dos métodos principales, los cuales ya han sido mencionados y que pueden utilizarse por separado o juntos. Uno procede por experimentación controlada, generalmente en la geología con modelos a escala reducida aunque la experimentación también es posible hasta cierto grado con los fenómenos geológicos naturales. (Las oportunidades de proceder experimentalmente son más grandes en algunas ciencias históricas.) El otro podría considerarse como complemento del estudio de las similitudes, previamente discutido en las series múltiples. En este método, la atención se enfoca a las diferencias consecuentes cuyas causas se buscan entre las diferencias observables o deducibles de las configuraciones antecedentes. Aunque la explicación rara vez es tan simple o tan fácil de identificar, un ejemplo bastante ilustrativo sería el de la presencia de una cascada en un valle y su ausencia en otro causada por una falla, por el borde de una roca dura encima de una lutita o por alguna otra configuración local fácilmente observable.

Los puntos siempre en debate en la ciencia histórica son la consistencia de las leyes y propiedades inmanentes propuestas con los acontecimientos históricos conocidos y la suficiencia y la necesidad de tal causación que actúa dentro de las configuraciones conocidas. Probablemente el argumento más fuerte de los catastrofistas fue que los rasgos terrestres conocidos eran incompatibles con su formación por las fuerzas naturales conocidas dentro del espacio vital terrestre, muchas de las cuales existieron hace unos 6 000 años. Por supuesto la falla no estaba en su lógica sino en una de sus premisas. El mismo argumento con el mismo sofisma, se esgrimió

contra Darwin cuando se sostenía que su teoría era inadecuada para explicar el origen de la actual diversidad orgánica en el espacio terrestre al que se le calculó, por la mayoría de los físicos más eminentes, unos cuantos millones de años de edad, a lo sumo. Darwin se mantuvo firme e insistió correctamente en que el cálculo de la edad de la Tierra estaba equivocado. La ciencia histórica desempeña un papel esencialmente, tanto filosófico como práctico, al suministrar tal cúmulo de comprobaciones (por lo común ni predecibles ni experimentales), ambos con sus propias teorías y con las de otras ciencias como parte de la comprobación misma de la ciencia en general. Un ejemplo geológico corriente, quizá el más instructivo de todos, debido que hasta este momento no ha llegado a una conclusión, es el de la controversia sobre la deriva continental y la suficiencia de las fuerzas físicas para que se efectuara si es que en realidad ocurrió. (Incidentalmente el motivo original del trabajo de Simpson, 1944, fue comprobar la consistencia y poder explicativo de varias teorías neontológicas de la evolución por comparación con el registro histórico.)

La comprobación de generalizaciones hipotéticas o explicaciones propuestas contra un registro histórico tiene alguno de los aspectos de la comprobación predecible. Sin embargo, aquí no decimos: "Si fulano de tal subsistió es porque tal o cual cosa ocurrirá" pero "si subsistió es porque tal o cual cosa debió haber ocurrido". (A la vez pienso que la diferencia en tiempo es lógicamente significativa y que no es aplicable un principio de paridad.) En mi propio campo uno de los ejemplos más notables ha sido el de la teoría de la ortogénesis, la cual, en la más común de muchas de sus formas, sostiene que una vez que comienza un lineamiento evolutivo es inherentemente forzado a continuar hasta el límite físicamente posible indistintamente de las otras circunstancias. Esta perspectiva evidentemente tiene consecuencias que deben reflejarse en el registro fósil. Y como una observación a este respecto, la teoría es incompatible en relación con dicho registro. Un ejemplo más estrictamente geológico es la teoría de "El pulso de la Tierra", según el cual, la formación de montañas de amplitud mundial que ha ocurrido a intervalos regularmente cíclicos, también resulta incompatible con los datos históricos disponibles (Gilluly, 1949, entre otros).

El estudio de la historia de la humanidad está incluido potencialmente en la ciencia histórica de acuerdo con nuestra definición. Una de sus diferencias con respecto a las otras ramas de la ciencia histórica es que trata con series configuracionales y complejos causales tan excesivamente intrincados que su análisis científico todavía no ha alcanzado el éxito deseado. (La correlación de Toynbee (1946)

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M.G.

de series similares parecería ser una aplicación prometedora de un método histórico natural, pero tengo entendido que los resultados no han sido adoptados universalmente por sus colegas.) Una segunda diferencia importante es que gran parte de esta breve historia ha sido observada directamente, aunque con grados variables de seguridad y agudeza y solamente en sus últimas partes ha sido observada por todos, cuya aproximación puede llamarse razonablemente científica. La observación directa de los acontecimientos históricos también es posible en la geología y en otras ciencias históricas y es otra de sus estrategias importantes. La observación meticulosa de la historia de un volcán (Paricutín) desde su nacimiento hasta su madurez, es un ejemplo prominente. Ejemplos más sencillos: quien contempla una inundación repentina de alguno de los arroyos del suroeste o quien vea rodar una piedra por la pendiente de una colina, está observando un acontecimiento histórico.

De cualquier modo, en la geología y en toda ciencia histórica, excepto la de la humanidad, sin embargo, el valor metodológico de los acontecimientos reales observables es más indirecto que directo. Por lo general, los procesos observados son solamente aquellos que actúan rápidamente. El tiempo comprendido es infinitesimal en comparación con el tiempo de la historia no humana, el cual es del orden de $n10^9$ años, tanto de la historia geológica como de la biológica. Una resolución factible corrientemente, dentro de este espacio, varía enormemente, pero, por lo general, no es la mejor y en algunos casos resulta mucho peor que $n10^6$. Los acontecimientos observados son tan to locales como triviales en la mayoría de los casos. De hecho, son insignificantes en sí, pero son extremadamente significativos como pruebas o paradigmas y son series vistas en acción y con todos sus elementos y circunstancias circundantes observables. De esta manera sirven de una forma especial y particularmente valiosa tanto como datos históricos (y no pseudohistóricos) para los métodos de comparación de series múltiples y como experimentos naturales para las vías de la experimentación, incluyendo, aunque no en todas las ocasiones, la de la predicción. (Incidentalmente ésta es una tercera forma en la cual todavía el presente es la llave al pasado, pero a su vez no implica la adición de un principio de uniformidad.)

La observación directa de los acontecimientos históricos también está implicada en una forma diferente en otro de los métodos históricos: el de las teorías explicatorias de la comprobación contra un registro. Por ejemplo, dichas observaciones son uno de los mejores medios de estimar los ritmos de los procesos bajo condiciones naturales y así juzgar dónde podrían haber causado, de hecho, los cambios indicados por el registro en el tiempo implicado; o la importancia histórica de procesos observados de corta duración puede comprobarse

contra el registro de los de larga duración, por necesidad o por suficiencia, o por ambas. Un ejemplo paleontológico interesante es al que le concierne el reclamo de algunos neolamarkianos, quienes están de acuerdo en que, aunque la herencia de los caracteres adquiridos es tan lenta que escapa a la observación directa, ha sido un (o *el*) proceso de evolución efectivo de larga duración. El registro fósil en sí no puede ofrecer una refutación evidente, pero despoja al argumento de toda certidumbre al mostrar que los procesos de corta duración observados realmente, excluidos de esta hipótesis, ambos son necesarios y suficientes para explicar lo que se conoce de la historia.

Conclusión

Las operaciones más frecuentes en la ciencia histórica no están basadas sobre la observación de las secuencias causales —acontecimientos— sino sobre la observación de los resultados. De estos resultados se hace el intento de deducir causas previas. Y esto es verdad, aun cuando se observe una secuencia histórica, como por ejemplo, una de estratos. Dicha sucesión es histórica directamente sólo en el sentido de que los estratos fueron depositados en una sucesión cronológica que nos es directamente útil. Los acontecimientos reales, como la depositación de cada estrato, no son observables. En tales situaciones y en este sentido, el presente no es precisamente la llave al pasado. Esto es lo que nos confirman los datos. La predicción es la deducción de resultados a partir de las causas. La ciencia histórica implica ampliamente lo opuesto: deduce causas (por supuesto, incluyendo configuraciones causales) a partir de los resultados.

Se ha dado en llamar a lo inverso de la predicción, quizá algunas veces en forma chistosa, postdicción. En un retorno momentáneo a la paridad de la explicación y de la predicción, puede notarse que si *A* es la causa necesaria y suficiente de *X* y *X* es el resultado necesario y único de *A*, entonces la predicción de *X* a partir de *A* y la postdicción de *A* a partir de *X* son simplemente exposiciones diferentes de la misma relación. Son idénticas, lógicamente. Ya se ha demostrado e insistido lo suficiente en que las condiciones de esta identidad no se sostienen con frecuencia en la práctica y en algunas ocasiones ni aun en principio para la ciencia histórica. Entonces, aquí la postdicción toma un significado más amplio y más característico y no es simplemente una reexposición de una relación predecible. Con una simplificación demasiado considerable podría decirse que la ciencia histórica es principalmente postdecible y la ciencia no histórica principalmente predecible.

La postdicción también implica la experimentación en sí misma, esencial a una ciencia verdadera, la cual se ha manifestado mediante el ejemplo, aunque con mucho, no ha sido totalmente expuesta. Quizá su prueba más simple y sin embargo la más concluyente, es la confrontación de la explicación teórica con la evidencia histórica. Un hecho o acontecimiento histórico crucial se puede deducir de una teoría y la investigación puede producir subsecuentemente pruebas en favor o en contra de su incidencia previa real. Esto es lo que Rensch (1960), por ejemplo, llama una "predicción", en algunas ocasiones con la aplicación de que la ciencia histórica es una ciencia verdadera a causa de que sus bases filosóficas no difieren verdaderamente de las ciencias físicas no históricas. La premisa de que la filosofía de la ciencia es necesariamente no histórica, está, por supuesto, equivocada, pero, en cualquier caso el argumento es falso. Lo que realmente se predice no es la ocurrencia antecedente sino el descubrimiento subsecuente; este antecedente es postdecible. Fuera de esto, quizá con subterfugios, señalo que la ocurrencia del antecedente no siempre es una consecuencia *necesaria* de cualquier hecho, principio, hipótesis, teoría, ley o postulado avanzado antes de que se haya hecho la postdicción. El punto está ilustrado lo suficiente en el nivel pragmático por el fracaso espectacular, en algunas ocasiones, de predecir descubrimientos aun cuando existe una base sólida que apoya tal predicción. Un ejemplo evolutivo es el fracaso al predecir el descubrimiento del "eslabón perdido" (el *Australopithecus*), que ahora se sabe caminaba erecto, elaboraba utensilios, pero tenía la fisonomía y la capacidad craneana de un mono. Por fortuna, tales ejemplos no invalidan la efectividad de la postdicción en el sentido de deducir el pasado a partir del presente acompañado de experimentos hechos por métodos históricos. De hecho, el descubrimiento del *Australopithecus* fue un ejemplo de tal experimento, pues sin ningún elemento predecible confirmó (y robusteció la confianza en él) ciertas teorías previas en cuanto a los orígenes y las relaciones humanas y permitió su refinamiento.

Otra distinción más simple pero, a pesar de todo generalmente significativa, es la de que a la ciencia histórica le concierne principalmente la configuración y a la no histórica la inmanencia. Un parangón con lo anterior, aunque no idéntico, es cierta tendencia de la primera a concentrarse sobre lo concreto y lo individual, y para la segunda, a enfocarse sobre lo abstracto y lo generalizado y la tendencia común es operar con cierto grado de abstracción. Sin embargo, hemos visto que la interpretación y la explicación en la ciencia histórica *incluye* a la inmanencia y junto con ella *todos* los hechos, los principios, las leyes, etc., de la ciencia no histórica. A éstos, la ciencia

histórica añade sus propios aspectos configuracionales y otros más. Cuando es más característica en sí, es composicionista más que reduccionista; examina los materiales de implicación primaria y se vigoriza en sistemas de complejidad e integración crecientes.

La ciencia histórica, caracterizada de esta manera, atraviesa las líneas tradicionales entre las distintas ciencias: la física, la química, la astronomía, la geología, la biología, la antropología, la psicología, la sociología y todas las demás. Cada una de ellas tiene aspectos tanto históricos como no históricos, aunque las proporciones de ambos difieren grandemente. Entre las ciencias citadas el elemento histórico desempeña un papel muy pequeño en la física, donde con frecuencia se ignora, y es de lo más importante en la sociología, en donde son negados, en algunas ocasiones, los aspectos no históricos, una de las razones por las que la sociología no siempre es clasificada como una ciencia. No es una mera coincidencia que haya una correlación con la complejidad y con los niveles de la integración en esta lista parcial, donde la física es la ciencia más simple y la sociología la más compleja. Desafortunadamente los filósofos de la ciencia han tendido a concentrarse en un extremo de este espectro en donde lo más simple puede conducir a una idea distorsionada, y que en algunos casos resulta muy falsa, de la filosofía de la ciencia en su conjunto.

Aun así, la geología exhibe un equilibrio de los elementos históricos y no históricos, como ocurre en cualquiera de las ciencias, y las relaciones entre ambos pueden ser aquí, particularmente, patentes. Se encuentra en una posición estratégica que permite iluminar a la filosofía científica —una oportunidad no explotada aún suficientemente.

Apéndice

El original de este ensayo fue leído y constructivamente criticado por cierto número de geólogos, muchos de ellos autores de algunos capítulos de este libro. Los presentes comentarios son una respuesta a los puntos discutidos por ellos mismos.

Algunos objetaron la palabra "inmanente", basándose en que no es familiar y que puede crear confusión con la palabra "inminente", cuyo significado y origen es diferente. Se propuso sustituirla por la palabra "inherente", que casi todos aceptaron, la cual me parece imprecisa e inadecuada para el sentido en que se aplica. Puesto que "inmanente" está definida con toda claridad y convenientemente aplicada, me resisto a creer que pueda dar lugar a equivocaciones. De hecho no condujo a conclusiones erróneas a los lectores quienes, sin embargo, la criticaron.

Otra crítica sugestiva afirmó que, bajo circunstancias especiales,

la extrapolación, a partir de los lineamientos históricos, puede ocasionar acontecimientos predecibles únicos. Creo posible, hasta cierto límite y para una predicción de corta duración, relativamente, pensar sobre una base probabilista, como lo es en realidad y que ya quedó señalada en el ensayo que se discute. El ejemplo dado por el comentarista también ilustra las limitaciones: es predecible el agotamiento de los combustibles fósiles predominantes dentro de unos cuantos siglos. De hecho, las circunstancias contingentes han cambiado tan radical e impredeciblemente en años recientes, que el término de esta predicción ha tenido que cambiar grandemente y es evidente que se ha hecho más vago y menos cierto de lo que se creyó en un principio. Aun cuando puede sentirse cierta seguridad en el resultado eventual, tal predicción histórica está en un nivel diferente del que se basa sobre el análisis causal prescindiendo de los lineamientos o añadiéndose a ellos.

Siguiendo líneas similares se ha observado que la predicción a partir de los ciclos puede ser extremadamente confiable cuando se sabe, en definitiva, que los fenómenos son cíclicos, como los movimientos planetarios, por ejemplo. Desde luego, esto es cierto para éste y otros ejemplos en los cuales han ocurrido cambios configuracionales comunes, los cuales se han visto gobernados casi enteramente por procesos cíclicos inmanentes. Entonces la predicción está basada sólo en los últimos, por lo que un elemento verdaderamente histórico es finito. Si ocurriera un cambio histórico no periódico, por ejemplo, si la masa de cualquier planeta se alterara en forma significativa, la predicción resultaría falsa. Hasta qué grado es posible la predicción en tales ejemplos, depende del conocimiento de las causas inmanentes y sobre las configuraciones periódicas, estrictamente, como se ha especificado líneas arriba. Sin embargo, como la crítica está de acuerdo en lo principal, de igual manera los ciclos predecibles pueden ser descontados hasta donde le concierne a la geología.

Finalmente, el decaimiento radiactivo de un isótopo se cita como un ejemplo de un fenómeno no cíclico predecible justamente. Considero que el decaimiento radiactivo es análogo a las leyes de los gases o a una reacción química; en cada caso, la predicción de los acontecimientos históricos reales no es precisa en principio, sino que las circunstancias históricas pueden ser estadísticamente tan uniformes que los cambios que experimenten son, a menudo, ignorados en la práctica. Entonces las leyes o las descripciones generalizadas expresadas en ecuaciones apropiadas subsisten, hasta que el elemento histórico se desconozca en absoluto y sus predicciones, en principio, no sean históricas.

REFERENCIAS

BARNHART, C. L., ed., 1948, The American college dictionary: New York and London, Harper, 1432 pp.

BERNAL, J. D., 1951, The physical basis of life: London, Routledge and Kegan Paul, 80 pp.

BRAITHWAITE, R. B., 1953, Scientific explanation: New York, Cambridge Univ. Press, 375 pp.

CONANT, J. B., 1947, On understanding science: New Haven, Yale Univ. Press, 145 pp.

FARRAND, W. R., 1962, Frozen mammoths: Science, vol. 137, pp. 450–452. [See also Lippman, 1962.]

GILLISPIE, C. C., 1951, Genesis and geology; a study in the relations of scientific thought, natural theology, and social opinion in Great Britain, 1790–1850: Cambridge, Mass., Harvard Univ. Press, 315 pp.

GILLULY, J., 1949, Distribution of mountain building in geologic time: Geol. Soc. Am., B., vol. 60, pp. 561–590.

HEMPEL, C. G., and OPPENHEIM, P., 1953, The logic of explanation, *in* Readings in the philosophy of science, H. Feigl and M. Brodbeck, eds.: New York, Appleton-Century-Crofts, pp. 319–352.

HOBSON, E. W., 1923, The domain of natural science; The Gifford Lectures delivered in the Univ. of Aberdeen in 1921 and 1922: New York, Macmillan, 510 pp.

HOOYKAAS, R., 1959, Natural law and divine miracle; a historical-critical study of the principle of uniformity in geology, biology, and theology: Leiden, E. J. Brill, 237 pp.

LIPPMAN, H. E., 1962, Frozen mammoths: Science, vol. 137, pp. 449–450. [See also Farrand, 1962.]

MAYR, E., 1961, Cause and effect in biology; kinds of causes, predictability, and teleology are viewed by a practicing biologist: Science, vol. 134, pp. 1501–1506.

MORGAN, C. L., 1890–91, Animal life and intelligence: London, E. Arnold, 512 pp.

NAGEL, E., 1961, The structure of science; problems in the logic of scientific explanation: New York, Harcourt, Brace, and World, 618 pp.

PITTENDRIGH, C. S., 1958, Adaptation, natural selection, and behavior, *in* Behavior and evolution, A. Roe and G. G. Simpson, eds.: New Haven, Yale Univ. Press, 557 pp.

RENSCH, B., 1960, The laws of evolution, *in* Evolution after Darwin, S. Tax, ed., vol. 1: Chicago, Univ. Chicago Press, pp. 95–116.

SCRIVEN, M., 1959, Explanation and prediction in evolutionary theory; satisfactory explanation of the past is possible even when prediction of the future is impossible: Science, vol. 130, pp. 477–482.

SIMPSON, G. G., 1944, Tempo and mode in evolution: New York, Columbia Univ. Press, 237 pp.

———, 1960, The history of life, *in* Evolution after Darwin, S. Tax, ed., vol. 1: Chicago, Univ. of Chicago Press, pp. 117–180.

———, 1962, Notes on the nature of science by a biologist, *in* Notes on the nature of science: New York, Harcourt, Brace, and World, pp. 7–12.

———, 1963, Biology and the nature of science: Science, vol. 139, pp. 81–88.

TOYNBEE, A., 1946–47, A study of history: London, Oxford Univ. Press, 617 pp.

DAVID B. KITTS

Universidad de Oklahoma

Teoría de la Geología[1]

Los geólogos, a través de la historia de su disciplina, se han preguntado acerca de la naturaleza de la geología y sus relaciones con las otras ciencias naturales. La propia conciencia ha aumentado entre los geólogos durante la pasada década, ocurriendo lo mismo entre todos los científicos. Los signos más palpables de una inclinación hacia el autoexamen se encuentran en las discusiones del curriculum geológico ideal en colegios y universidades. Muchos de los temas que surgieron de estas discusiones pueden interpretarse como temas relacionados con la estructura teórica de la ciencia.

Generalizaciones geológicas

En las discusiones siguientes, el término "geológico" deberá entenderse como una idea que llena una función particular en la geología y no es un término necesario para discursos sin sentido ajenos a la geología. Los términos geológicos han sido acuñados para satisfacer una necesidad específica, por ejemplo "sinclinal"; o pueden ser términos del lenguaje corriente cuyo significado se ha extendido o, más a menudo, restringido, para satisfacer una necesidad técnica, por ejemplo "arena". Una exposición general en la que se emplean términos geológicos en el sentido citado líneas arriba, se llamará una "generalización geológica".

En un trabajo recientemente publicado (Kitts, 1963) expresé la opinión de que las explicaciones geológicas se pueden justificar en función de las generalizaciones comparables con las leyes de las otras ciencias naturales. Muchos geólogos se han mostrado renuentes a vincular el título "ley" a cualquiera de sus enunciados, en tanto que unos pocos, por ejemplo Bucher (1933), lo han utilizado libremente. No es mi intención discutir a qué enunciados deberá aplicarse el nombre de ley y a cuáles no. El tema ha sido discutido con cierta

[1] Deseo expresar mi gratitud a los miembros del seminario avanzado en la historia de la ciencia en la Universidad de Oklahoma por la crítica hecha al original. A Carolyn Wares por su ayuda valiosa en la preparación del original. Se hicieron ciertas alteraciones a la última sección de este trabajo atendiendo a la sugestión del Dr. M. King Hubbert.

BIBLIOTECA
JUIZ DE FORA — M.G.

amplitud por muchos de los filósofos de la ciencia. De las excelentes discusiones recientes del concepto de una ley científica recomiendo al lector los trabajos de Nagel (1961), Braithwaite (1953) y Hempel y Oppenheim (1948). Aunque ya tendré la oportunidad de mencionar la opinión corriente sobre las clases de enunciados que pueden llamarse leyes, por el momento mi principal propósito es examinar la gran variedad de enunciados generales, cualesquiera que sean los que escojamos para llamarlos así, que han de servir como parte de una justificación lógica de las distintas clases de explicaciones geológicas.

Se ha considerado a la explicación científica, por tradición, como una operación deductiva. Y cuando funciona en un argumento deductivo debe adoptar una forma estrictamente universal, es decir, no debe admitir excepciones de ninguna clase. En consecuencia, muchos autores han restringido el término "ley natural" a los enunciados de forma estrictamente universal. Uno puede citar ejemplos de generalizaciones geológicas que son universales. Por ejemplo, el enunciado "Si el abastecimiento de arena nueva es menor que la que se mueve sobre la cresta... el lado de barlovento decrecerá al crecer el de sotavento y de este modo los médanos migrarán con el viento por el transporte de arena de una pendiente a la otra" (Dunbar y Rodgers, 1963, Pág. 36*) es de una forma universal, aunque no en principio.

Sin embargo, las generalizaciones que emplean términos que indican probabilidad o posibilidad, son tan numerosas que superan a las generalizaciones de forma universal en la literatura geológica. Un rasgo notable en una conversación geológica es la frecuencia con que ocurren en las generalizaciones palabras y frases como "probablemente", "frecuentemente", "tiende a".

Las explicaciones que incluyen estos enunciados generales no universales, por supuesto no son de forma deductiva, sino más bien de forma inductiva. Como Hempel (1958, Pág. 40) lo ha expuesto, "Esta clase de argumento, por lo tanto, es más bien inductivo que de un carácter estrictamente deductivo: se trata de la aceptación de *E* (establece una opinión cualquiera en relación a lo que se está explicando) sobre la base de otros enunciados, la cual constituye, aunque sea en forma parcial, si está firmemente apoyada, su propio fundamento". Algunos geólogos diferirán en que las generalizaciones que emplean raramente proporcionan más de lo "parcial, si están firmemente apoyadas, en lo fundamental", para sus propias conclusiones.

* DUNBAR y RODGERS.— Principios de Estratigrafía. Compañía Editorial Continental, S. A. 1963. MEXICO. Edición en español del "PRINCIPLES OF STRATIGRAPHY" de los mismos autores. Todas las citas de esta obra se referirán a la edición en Español. (N. del T.)

Acostumbramos llamar enunciados generales a aquellos que admiten algunas excepciones "estadísticas" o "probabilistas". De acuerdo con Bunge (1961, Pág. 267), los enunciados estadísticos semejantes a una ley son "...proposiciones que denotan regularidades en gran escala a la corta o a la larga. Contienen construcciones lógicas que pertenecen a la estadística matemática y que caracterizan los lineamientos centrales o totales ('promedio', 'dispersión', 'correlación' y todo lo semejante)". La generalización que establece el ritmo de decaimiento del carbono 14, en este sentido es estadística.

Los enunciados generales que incluyen vocablos que denotan probabilidad o posibilidad, pero que no los caracteriza ninguna formulación precisa de construcción estadística en términos numéricos, reciben mucho mejor el título de "probabilista" que el de "estadístico". En la literatura geológica abundan enunciados de esta clase. Por ejemplo: "La arena movida por el viento, como la nieve, tiende a asentarse en montones del lado protegido contra el viento por obstrucciones topográficas" (Dunbar y Rodgers, 1963, Pág. 34).

La deducción estadística juega un papel cada vez más importante en la investigación geológica y no se puede dejar de sentir una impresión por la frecuencia con la que aparecen las construcciones estadísticas en la literatura geológica. Sin embargo, en gran parte de esta literatura, la terminología estadística precisa empleada puede oscurecer el vago carácter probabilista de las generalizaciones que la contengan. En la cita siguiente las porciones antecedentes de la generalización se ajustan con precisión estadística, pero los operadores, tales como "más" y "muchos", carecen de precisión.

> "Las arenas de las dunas *tienden a estar* mejor clasificadas que las arenas de los ríos y una gráfica de desviación tipo (clasificación) para comparar el tamaño de grano medio indica tres campos, uno para las arenas de los ríos, otro para las arenas de las dunas, y el tercero es el campo de traslape. En esta gráfica se señala que *muchas* de las arenas de los ríos pueden distinguirse de las arenas de las dunas y viceversa, en base a sus parámetros texturales, aunque no por ello deja de existir un campo amplio donde ambos parámetros se traslapan. En la práctica este campo de traslape no constituye un grave problema, puesto que *muchas* de las arenas costeras, de las barras de barrera y de las dunas lacustres tienen una desviación tipo de menos de 0.40 y *muchas* de las arenas del desierto y de las dunas del interior del continente no exceden de 0.50, mientras que la *mayoría* de las arenas fluviales tienen una desviación tipo que excede de 0.50". (Friedman, 1961, Pág. 524, tipos itálicos.)

Scriven (1959) ha sugerido recientemente que las generalizaciones que justifican las explicaciones de acontecimientos individuales

no son, por lo común, ni universales ni estadísticas, ni aun probabilistas, más bien pertenecen a otra categoría de enunciados a los que llama "enunciados normativos". Sus conceptos sobre estos enunciados arrojan luz, en particular, sobre el problema de las generalizaciones y explicaciones geológicas. Y dice (Pág. 464): "Sugiero la existencia de una categoría de enunciados generales, una categoría híbrida con rasgos universales y algunos estadísticos, de la cual sólo pueden seleccionarse los fundamentos que justifiquen para siempre las buenas explicaciones de los acontecimientos individuales", y (Pág. 466),

> El enunciado estadístico es menos informativo que el enunciado normativo en forma muy importante, aunque un enunciado estadístico exacto, puede ser informativo y en cierto modo en una medida en que un normativo no lo es. El enunciado estadístico no dice todo acerca de las cosas a que se refiere, excepto que algunas caen y otras no dentro de cierta categoría. El enunciado normativo dice que *todas* caen dentro de cierta categoría *excepto* aquellas a las que se les aplican *ciertas condiciones especiales*. Y aunque algunos enunciados normativos en sí no se inclinan explícitamente hacia lo que se calcula como condiciones excepcionales, emplean un vocabulario que nos recuerda los conocimientos que tenemos sobre esto, nuestro discernimiento disciplinado de las excepciones.

Y (en la Pág. 466)

> Ahora, si las excepciones fuesen poco numerosas y fácilmente descriptibles, uno podría convertir un enunciado normativo en una generalización exacta inclinándose hacia ellas. Los enunciados normativos son útiles donde el sistema de excepciones, aunque perfectamente comprensible en el sentido de que puede aprenderse cómo juzgar su aplicabilidad, es sumamente complejo. Vemos inmediatamente la analogía del carácter normativo con las leyes físicas. La *instrucción* del físico lo hace cauteloso del sistema de excepciones e inexactitudes, la cual si fuese más simple podría aparecer expuesta explícitamente en el enunciado del objetivo.

Y finalmente (Pág. 467)

> . . .los enunciados estadísticos son demasiado débiles, abandonan la plaza en el caso individual. El enunciado normativo puede decir lo que sucedió en *este* caso a menos que se logren ciertas circunstancias excepcionales; y cuando es hecho el discernimiento histórico (y abierto a la verificación), es cuando no se lograron tales circunstancias.

Consideremos otra vez la generalización de Dunbar y Rodgers (1963, Pág. 19) a la que le concierne la acumulación de la arena impulsada por el viento. "La arena movida por el viento, como la nieve, tiende a asentarse en montones del lado protegido contra el viento por obstrucciones topográficas". Sin pensarlo, uno se inclinaría a considerar este enunciado como probabilista, a causa de la distinta connotación probabilista, o aun estadística, de la frase "tiende a". ¿Pero el propósito de los autores fue el de asegurar que si son realizadas ciertas condiciones especificadas entonces *en la mayoría de los casos* deberán seguir otras ciertas condiciones especificadas en cuyo caso la generalización se debe considerar, en realidad, como probabilista? ¿O tal vez su propósito fue el de afirmar que si se realizaban ciertas condiciones especificadas entonces *siempre* seguirían otras ciertas condiciones especificadas *excepto* donde se aplican ciertas condiciones especiales, en cuyo caso la generalización puede considerarse como normativa? Ignoro cuáles fueron los propósitos de los autores y aún así me parece completamente plausible considerar al enunciado tanto normativo como probabilista. Un problema de gran importancia en asociación con estas generalizaciones se manifiesta principalmente en relación con un gran número de generalizaciones geológicas probabilistas, y un gran número de enunciados universales.

Muchas generalizaciones geológicas, cualquiera que sea su forma explícita, podrían considerarse como enunciados normativos y el sentido en que realmente los entendemos es mucho mejor expresado por el término "normativo" más que por los términos "universal", "estadístico" o "probabilista". Una cosa sí es cierta y es la de que el geólogo no "abandonará la plaza del caso individual", permitiendo que también los enunciados estadísticos asuman un papel importante en sus procedimientos, pues como lo he sugerido desde un principio, su principal interés está en el caso individual.

El carácter normativo de algunas generalizaciones puede hacerse explícito. Dondequiera que se encuentren en una generalización los vocablos "normalmente" u "ordinariamente", por lo general se supone que el enunciado es normativo. El siguiente enunciado es normativo, explícitamente. "El material carbonoso es un residuo que queda después de que se han ido varios de los compuestos más o menos inestables producidos durante la descomposición de la materia orgánica en un ambiente deficiente en oxígeno. Por ejemplo, el gas metano se desprende y se escapa bajo condiciones ordinarias". (Weller, 1960, Pág. 152.)

Scriven alimenta la esperanza de que al menos los enunciados normativos puedan convertirse en enunciados universales. El enunciado de Von Engeln (1942, Pág. 457) de la "ley de las secciones transversales ajustadas" representa un intento por catalogar las "circunstancias excepcionales", las que, si se aplicaran, invalidarían la generalización.

> Dado que las superficies de unión de los glaciares se encuentran al mismo nivel, que la amplitud del valle principal no aumenta abruptamente

BIBLIOTECA PÚBLICA MUNICIPAL
Biblioteca Municipal Murilo Mendes
JUIZ DE FORA — M. G.
Juiz de Fora — M. G.

debajo del punto de unión, y que el ritmo de movimiento del glaciar principal no es más grande en su fondo que en la superficie de unión —y todas estas condiciones se encuentran en casos numerosos— se sigue que debe haber un aumento abrupto en la profundidad del valle principal para acomodar el volumen de los glaciares combinados en el punto donde se unen.

Es evidente que los geólogos toleran en sus generalizaciones una mayor imprecisión de la que es necesaria técnicamente. Regresemos otra vez a la generalización de Dunbar y Rodgers (1963, Pág. 34) relativa a la acumulación de la arena impulsada por el viento. Podría ser posible especificar las circunstancias bajo las cuales las arenas impulsadas por el viento *siempre* se acumularían a la sombra del viento de los obstáculos topográficos. Para que esto se verifique, es necesario especificar variaciones restringidas para las condiciones iniciales pertinentes y las de los límites, tales como la velocidad del viento, el carácter y la cantidad de arena, la forma del obstáculo, etc. La construcción de los enunciados universales no es, sin embargo, la meta principal del geólogo sino aquella que se refiere a la construcción de los enunciados *generales*, universales o no, en base a la cual se puedan justificar las explicaciones. La introducción de condiciones iniciales específicas y de límites puede permitir la formulación de enunciados universales estrictamente, pero estos enunciados no se utilizarán, cualesquiera que sean, a menos que puedan determinarse independientemente estas condiciones específicas. Muy frecuentemente resulta imposible determinar estas condiciones y las generalizaciones son intencionalmente abandonadas en un estado formulado vagamente. Esto no impide la posibilidad de tener en cuenta ciertas condiciones específicas cuando se puedan inferir independientemente.

No es extraña la opinión entre los geólogos de que la geología es tanto un "arte" como una ciencia, y ésta puede radicar en el hecho de que el sistema de excepciones asociado con las generalizaciones geológicas generalmente es tan complejo que el "discernimiento" de su pertinencia puede jugar un papel importante en la investigación; un papel más importante que en las ciencias naturales en las que el sistema de excepciones parece ser más sencillo.

El empleo de muchas generalizaciones aparentemente estadísticas y probabilistas imparte a la geología un aspecto de "indeterminación". Sería muy engañoso pretender equiparar, como lo han hecho algunos ge logos, esta "indeterminación" geológica con el principio de indeterminación del físico moderno. En la mecánica estadística cuántica la indeterminación es una parte integral de la teoría. *No* se ha supuesto que pueda ser eliminada la incertidumbre por una especificación más completa y detallada de una determinada serie de

variables. A mí me parece que en la geología se ha hecho la suposición opuesta. Se estima que la incertidumbre es un rasgo que puede ser tolerado hasta que un conocimiento más completo de las variables se pueda sustituir por la certeza o, dicho de otra manera, hasta que los enunciados probabilistas y normativos puedan ser reemplazados por enunciados universales. Los geólogos son fundamentalmente deterministas en sus aproximaciones a la investigación científica. La indeterminación, como se entiende en la física, puede introducirse en la geología en aquellos casos donde los principios de la mecánica estadística entran directamente en la deducción geológica.

Finalmente se tratará un punto relacionado con la probabilidad. Los logistas han llamado la atención sobre el hecho de que hay dos sentidos en los cuales puede utilizarse el vocablo "probabilidad" en relación con las hipótesis científicas. En el primer sentido puede afirmarse que una hipótesis particular es probable o más probable que algunas de las otras hipótesis; por ejemplo, "es probable que la marga glauconítica represente el acaecimiento primario normal y que las arenas verdes sean un concentrado juntado como cualquiera otra clase de arena durante el transporte, en el fondo del mar" (Dunbar y Rodgers, 1963, Pág. 225). En el segundo sentido se asigna una probabilidad a un acontecimiento dentro de una hipótesis, por ejemplo, "casi todas las masas movibles que comienzan como deslizamientos en condiciones acuosas, se convierten en corrientes de lodo" (Weller, 1960, Pág. 158). Los términos probabilistas son empleados por los geólogos en forma vaga y tan frecuentemente, que a menudo resulta difícil determinar en cuál de los sentidos debe entenderse el término probabilista en particular.

Se acepte o no, una generalización geológica es de forma universal y por cierto no es el único problema que nos interesa. Un enunciado puede ser de una forma estrictamente universal, pero con un objetivo muy restringido. El objetivo de un enunciado corresponde a la clase de objetos o acontecimientos a los que se aplica el enunciado. Cada enunciado está restringido a su objetivo en algún grado. Determinado tipo de estas restricciones en el objetivo desvirtúan seriamente la utilidad de un enunciado general, el cual se propone tener fuerza explicatoria. Entre estas restricciones, la más seria es la impuesta por referencia a objetos particulares o a las clases finitas de objetos, en particular en las regiones espacio-temporales.

Las generalizaciones que contienen referencias a objetos particulares o las que contengan vocablos cuya definición requiera referencia a objetos particulares, son raras en geología, así como lo son en otras ciencias. Las generalizaciones en las que se hace referencia en

particular a una clase finita de objetos que cae dentro de una región espacio-temporal definida, son muy comunes y podrían de un modo causar alguna dificultad. En el enunciado, "Las corrientes maestras al norte de la región de los Apalaches, nacen en la Meseta de Alleghenny y fluyen al sureste hacia el Atlántico y cruzan el lineamiento noreste-suroeste de las rocas y estructuras cuya edad varía desde el Precámbrico hasta el Terciario" (Mackin, 1938, Pág. 27), por ejemplo, es claro que el objetivo está restringido a una clase finita de objetos. Evidentemente el enunciado no tiene fuerza explicatoria. No justificaríamos al explicar el hecho de que una corriente maestra particular del norte de la región apalachana fluyó hacia el sureste con alusión a este enunciado, debido a que como Nagel (1961, Pág. 63) señala, "en efecto, si un enunciado no afirma más de lo que es afirmado por su propia evidencia, caemos ligeramente en lo absurdo cuando empleamos el enunciado para explicar o predecir todo lo incluido en esta evidencia". Ningún geólogo intentaría explicar absolutamente todo por referencia a este enunciado, ni Mackin intentó lo que ellos tratan de justificar. Evidentemente, el enunciado fue construido no para proporcionar un medio de explicación y predicción, sino más bien, para transmitir hasta donde sea posible, económicamente, la información acerca de algunos objetos particulares en una región en particular. El enunciado habría sido formulado como una asociación de enunciados singulares sin cambio en el significado. Muchos enunciados generales en la geología cuyo objetivo está restringido explícitamente, son de este tipo.

Como Nagel (1961, Pág. 63) ya lo señaló, a un enunciado general que se refiere a un grupo de objetos o acontecimientos razonablemente finito, puede asignársele un papel explicatorio si la evidencia para el enunciado se ha supuesto que no agota el objeto de la afirmación del enunciado. La evidencia citada que apoya el enunciado, "Al disminuir la velocidad de un río cargado, tanto su competencia como su capacidad se reducen y se convierte en *sobrecargado*" (Dunbar y Rodgers, 1963, Pág. 22), por ejemplo, constará de un número finito de observaciones y, sin embargo, la intención de los autores no es precisamente la de afirmar que esta serie de observaciones agota el objetivo del enunciado.

Podría surgir un problema cuando se tiene el propósito de construir un enunciado general. Es probable que este problema ocurra particularmente en relación a los enunciados generales concernientes a la asociación de acontecimientos del pasado donde es pequeño el número de casos citados en apoyo del enunciado. ¿Los casos que se citan a continuación para apoyar a las generalizaciones siguientes agotan o no el objetivo de la afirmación? "Las montañas plegadas

tienen su origen en el relleno de un geosinclinal constituido principalmente de sedimentos de aguas someras como conglomerados, areniscas, lutitas y calizas ocasionales" (von Engeln y Caster, 1952, Pág. 234). La clase de montañas plegadas contienen un número finito de individuos. El problema del objetivo no puede ser contestado por un análisis del enunciado ni tampoco por el examen de la evidencia del mismo. La contestación se encuentra en la determinación del propósito de los autores. ¿Es simplemente su intención conducir la información hacia un número finito de casos, o tratan de asegurar que las montañas plegadas del pasado, presente y futuro tienen su origen en el relleno de los geosinclinales? Si este último es el caso, entonces existe el propósito de asignar al enunciado un papel explicatorio y posiblemente predecible. Cito este ejemplo para ilustrar la importancia de este propósito. No abrigo duda alguna de que los autores piensan ir más allá de un simple informe histórico.

Podría argumentarse que están restringidos los objetivos de los enunciados geológicos generales, debido a que contienen, implícita o explícitamente, el nombre individual "del planeta Tierra". Nagel (1961) considera a las leyes de Kepler del movimiento de los planetas semejantes a una ley aun cuando contienen nombres individuales, debido a que como él mismo lo señala (Pág. 59), "No es necesario que los planetas y sus órbitas se encuentren localizados en un volumen de espacio de fijo o en un intervalo de tiempo dado". Pienso que es verídico de las generalizaciones geológicas que no es necesario que los objetivos cubiertos se hallen asociados con el "planeta Tierra". Las generalizaciones se mantendrán seguras dondequiera que las condiciones que se obtengan sean indudablemente muy específicas. En otras palabras, sería posible, al menos en principio, expresar cada término, incluyendo al del "planeta Tierra", en términos universales y así eliminar la referencia esencial a cualquier objeto en particular. El hecho es, por supuesto, que a nadie debe preocuparle acerca de la referencia esencial a la Tierra así como tampoco debe intranquilizarnos mientras ejercemos nuestra profesión de geólogos.

A un problema de consecuencias le concierne la restricción conjeturada aunque inexpresada del objetivo temporal de los enunciados geológicos. Puesto que este problema subsiste como la esencia de cualquier consideración del principio de uniformidad, lo discutiré en una sección aparte de este mismo trabajo.

Teoría de la geología

¿Hay alguna justificación para tratar una "teoría" de la geología? La respuesta a esta pregunta depende, indudablemente, de esta

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M G.

otra: ¿Qué entendemos por una teoría? Trataré de contestar a la segunda pregunta para lo cual citaré a tres filósofos de la ciencia en relación a este tema.

Respecto a lo que estamos tratando, Hempel (1958, Pág. 41) nos dice lo siguiente:

> Para discutir ampliamente este punto será de utilidad referirse primero a la distinción familiar entre los dos niveles de la sistematización científica: el nivel de la *generalización empírica* y el nivel de la *formación de la teoría*. Las primeras etapas del comienzo de una disciplina científica pertenecen al primer nivel que se caracteriza por la investigación de las leyes (de forma universal o estadística) estableciendo las relaciones entre los aspectos observables directamente de la materia bajo estudio. Las etapas más avanzadas pertenecen al segundo nivel donde la investigación se circunscribe a las leyes comprensivas en función de las entidades hipotéticas, las cuales explican las uniformidades establecidas en el primer nivel.

Nagel (1961, Pág. 83) reconoce la utilidad de hacer una distinción entre las "leyes teóricas" y las que él titula "leyes experimentales", pero llama la atención sobre las dificultades que pueden surgir al aplicar uno de estos títulos a una o a otra. Sin embargo, precisa que,

> Quizá el rasgo único más notable de las leyes experimentales separadas de las teorías es que cualquier término constante "descriptivo" (esto es, no lógico) en las primeras, aunque en general ninguno lo es en los de la segunda, está asociado, al menos, con un proceder manifiesto para afirmar el término de un rasgo identificable por medio de la observación cuando se han verificado ciertas circunstancias especificadas. El proceder asociado con un término en una ley experimental fija de esta manera un significado definido del término aunque sea en forma parcial. En consecuencia, una ley experimental, diferente de un enunciado teórico, posee invariablemente un contenido empírico determinado, el cual, en principio, siempre puede ser controlado por la evidencia observacional obtenida por aquellos procedimientos.

Y finalmente Carnap (1956, Pág. 38), que enfatiza las consecuencias lingüísticas de la distinción hecha por Nagel y Hempel, expresa:

> En las discusiones sobre la metodología de la ciencia, es costumbre y es útil dividir el lenguaje científico en dos partes, el lenguaje de la observación y el lenguaje teórico. El lenguaje de la observación utiliza términos a los que se destinan propiedades y relaciones observables para la descripción de cosas o acontecimientos observables. El lenguaje teórico, por otro lado, contiene términos que se refieren a acontecimientos inobservables, aspectos o rasgos de acontecimientos inobservables, por ejemplo, a las partículas microscópicas como electrones o átomos, al campo electromagnético o al campo gravitacional en la física, a lo que es capaz de existir, a la existencia en potencia de varias clases en la psicología, etc.

Ahora podemos proceder a examinar a la geología teniendo presentes estas características "teóricas". Se ha insistido repetidamente que en el pasado la geología fue "descriptiva" y aun actualmente lo sigue siendo en cierto grado. Por ejemplo, Leet y Judson (1954, Pág. ii) establecen: "En el principio la geología fue descriptiva esencialmente, una rama de la historia natural. Pero a mediados del siglo xx se desenvolvió como una ciencia física completamente madura utilizando en forma liberal la química, la física y las matemáticas, las que a su vez contribuyeron a su desarrollo. En este enunciado, ¿qué es lo que trata de darse a entender con la palabra "descriptiva"? Sin duda no puede aceptarse para indicar que la geología está actualmente interesada, o que en cualquier época lo ha estado durante los últimos doscientos años, totalmente o en su mayor parte, en el simple informe de las observaciones. El hecho real es que durante este periodo los geólogos han persistido en su punto de vista histórico, para desmentir cualquier discusión. La formulación de los enunciados históricos requiere procedimientos deductivos que indudablemente van más allá de una simple "descripción".

El rasgo que ha sido admitido aparentemente por los que aceptan lo descriptivo como una característica de la geología, y que en realidad tenemos que aceptarlo, es que muchos términos geológicos pueden construirse con el lenguaje de la observación o ser completamente eliminados de cualquier enunciado geológicamente significativo en favor de los términos ya así construidos. Esto quiere decir simplemente que muchos términos geológicos no son teóricos. Aun los cuatro grandes "axiomas" de Steno pueden considerarse más bien como "observacionales" que como "teóricos".

La abundancia de términos históricos en la geología puede producir alguna confusión cuando trata de hacerse la distinción entre los términos de la observación y los términos teóricos. Los términos históricos implican desde algún tipo de deducción histórica hasta un acontecimiento o condición del pasado y en consecuencia, para su definición, es requisito que se refieran a cosas que no hemos observado. Por ejemplo, considérese el término "falla normal" la cual ha sido definida como aquella "en la que el muro colgado o alto de la falla* aparentemente se ha deslizado hacia abajo del muro de pie o bajo de la falla* (Billings, 1954, Pág. 143). El título "teórico" es un término que probablemente sería rechazado por muchos filósofos de la ciencia debido a que el acontecimiento pasado puede describirse en el lenguaje de la observación y consecuentemente podría ser observado en *principio*, al menos.

---

* Términos usados en México. (N. del T.)

Entonces surge la pregunta, ¿hay términos geológicos *cualesquiera* que puedan calificarse sin reserva como teóricos? Esta es una pregunta difícil de contestar debido a que como muchos autores lo han señalado, aún no puede precisarse con claridad la distinción entre los términos teóricos y los de la observación. Indudablemente no hay términos geológicos tan abstractos como los teóricos de nivel superior, por ejemplo los que se inventan para la mecánica cuántica. Por otro lado, hay cierto número de términos geológicos que sin duda pueden calificarse y que son los que podrían llamarse "términos teóricos de nivel inferior", esto es, términos de extensión relativamente limitada. Me parece que "Geosinclinal" es uno de tales términos. De acuerdo con Kay (1951, Pág. 4) un geosinclinal puede definirse como una "superficie de extensión regional que se hundió a través de un largo periodo de tiempo mientras se acumulaban las rocas sedimentarias y volcánicas que contiene; un gran espesor de estas rocas es una prueba casi invariable del hundimiento aunque no es un requisito necesario. Los geosinclinales son predominantemente lineales aunque las depresiones sin esta característica tienen propiedades que son esencialmente de geosinclinal".

Otro candidato para el título de "término teórico" es el de "corriente graduada". De acuerdo con Mackin (1948, Pág. 471),

> Una corriente graduada es aquella que ha adquirido durante un periodo de años una pendiente delicadamente ajustada con el fin de proporcionar, para un caudal disponible y un cauce eficaz característico, la velocidad justa que se requiere para el transporte de la carga suministrada por la cuenca de drenaje. La corriente graduada es un sistema en equilibrio; su característica diagnóstica es que cualquier cambio en cualquiera de los factores controlantes originará un desplazamiento del equilibrio en una dirección en la que se absorberá el efecto del cambio.

Si estoy en lo correcto al considerar estos términos como teóricos, podríamos esperar que surgirían algunas dificultades si se hiciese el intento por definir estas expresiones en función de términos observables. Sin embargo, no me siento inclinado o idóneo para investigar, en este punto, el problema de las "reglas de la correspondencia".

¿Cuál es la función de los términos teóricos en un sistema científico? Pienso que quizá la respuesta a esta pregunta ya fue dada en el pasaje de Hempel (1958, Pág. 41) citado muy al principio, y en las palabras de Nagel (1961, Págs. 88-89) cuando dice,

> Una ley experimental, sin excepción, debe ser formulada en un simple enunciado; una teoría, casi sin excepción, es un sistema de varios enunciados afines. Pero esta diferencia patente es solamente una indicación de algo más impresionante y significativo: la generalidad más grande de las teorías y su poder explicatorio relativamente más universal.

Los enunciados generales que contienen los términos "geosinclinal" y "corriente graduada" tienen, en relación a otros enunciados geológicos relativos, gran generalidad, y llenan totalmente, en forma clara, la función que deben satisfacer los términos teóricos, esto es, establecen en forma considerable algún "orden explicatorio y predecible entre los 'datos' complejos confusos de nuestra experiencia, los de los fenómenos que podemos observar directamente" (Hempel, 1958, Pág. 41).

Uno de los rasgos más notables de los sistemas científicos con una estructura teórica altamente desarrollada es el grado al cual es posible establecer relaciones lógicas entre varios de los enunciados generales contenidos en un sistema. Un enunciado general dado puede, en combinación con otros enunciados generales o aun con enunciados singulares, servir como base de la derivación deductiva de otros enunciados generales, o en sí ser derivable de otras generalizaciones de la misma manera. Es este rasgo el que suministra sistemas empíricos con su sistematización. La importancia del sistema la indica Braithwaite (1953, Págs. 301-302), quien sostiene que para que una hipótesis se considere como "semejante a una ley", debe cumplir únicamente con la condición de que "ni ocurra en un sistema científico deductivo establecido como una hipótesis de nivel superior que contenga conceptos teóricos o que ocurra en un sistema científico deductivo establecido como una deducción de hipótesis de nivel superior, las cuales están apoyadas por pruebas empíricas de las que no hay pruebas directas para ellas mismas".

Según sugiere Braithwaite, en el caso de una generalización (G) que está relacionada deductivamente a otras generalizaciones, es posible distinguir la prueba indirecta o directa en apoyo de ella misma. Cualquier prueba empírica que apoya una generalización, la cual está relacionada deductivamente a G, se considerará como prueba indirecta en apoyo de G. Nagel (1961, Pág. 66) enfatiza la importancia de la prueba indirecta en el enunciado, "en realidad existe, a menudo, una fuerte aversión a lo que se llama una 'ley natural' condicional universal, L, a pesar del hecho de que ella satisface varias de las condiciones ya discutidas, si la única prueba disponible para L es la prueba directa".

¿Cuánta sistematización hay en el cuerpo del conocimiento geológico? Si consideramos las generalizaciones geológicas, esto es, los enunciados generales que contienen sólo términos geológicos especiales, nos sorprendemos de la escasa sistematización que se obtiene. Por supuesto que sí la hay y generalmente es proporcionada en función de conceptos unificantes tales como "corrientes graduadas" y "geosinclinal". Esta sistematización de bajo grado no es sorprendente,

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES

pues cada texto de geología elemental insiste en que la geología no es una disciplina dentro de sí misma. Solamente tenemos que introducir en nuestro sistema las generalizaciones, y las leyes de la teoría fisicoquímica y las relaciones lógicas dentro y entre las ramas de la geología, se hacen aún más impresionantes. Todavía puede ser un tema de discusión entre los geólogos, el que se refiere a que cada generalización geológica ha sido o pudo ser incorporada, en principio, a un sistema teórico en función de leyes fisicoquímicas. Sin embargo, si una generalización geológica es realmente independiente, no importa qué tan útil pueda ser, su categoría sufrirá a causa de que ninguna prueba indirecta puede presentarse en su apoyo y probablemente nos expresamos de ella "simplemente" como una generalización empírica.

La pregunta es, dónde la geología es química y dónde física, pues de un modo u otro el geólogo utilizará la teoría fisicoquímica la que admite con todas sus imperfecciones y con todo su inmenso poder. La pregunta ha sido contestada. Casi todos los geólogos proceden como si las raíces de cada enunciado geológico estuviesen contenidas casualmente en la teoría fisicoquímica. La teoría geológica se ha modificado para acomodarse a dicha teoría, pero nunca ha ocurrido lo contrario. Además, esta seguridad en la física y en la química no es un rasgo único de la geología del siglo XX, pues como dice Hutton (1795, Págs. 31-32):

> Es evidente que nada que no sea el conocimiento más general de las leyes de las sustancias en acción y de aquellas de los cuerpos que cambian por los poderes de la naturaleza, puede habilitarnos para emprender esta empresa con cualquier perspectiva razonable de éxito, y aquí, particularmente la química debe acudir en nuestra ayuda, pues esta ciencia, que tiene por objetivo los cambios producidos sobre las llamadas cualidades sensibles de los cuerpos, puede capacitarnos con sus recursos para juzgar de aquello que es posible de acuerdo con las leyes de la naturaleza y de igual manera para juzgar de aquello que podemos considerar como imposible.

Ciertamente no existe un sistema deductivo completo de la geología que sea consistente, económico, aunque pienso que podemos descubrir una sugestión para tal sistema. En este sistema, las generalizaciones universales de alto nivel o postulados, que sirven como base para la derivación deductiva de otras generalizaciones y de los enunciados singulares del sistema, son precisamente los que sirven a este propósito en la física y en la química. La teoría de la geología es, de acuerdo con esta opinión, la teoría de la física y de la química. Sin embargo, el geólogo, a diferencia del químico y del físico, considera esta teoría como un instrumento de deducción histórica.

Las generalizaciones que contienen los términos teóricos "geosinclinal" y "corriente graduada" no son consideradas como "leyes fundamentales de la naturaleza", ni como postulados de una teoría de la geología. Los geólogos están confiados, a su modo de ver, en que las generalizaciones que contienen estos términos pueden ser derivadas de generalizaciones de nivel superior las cuales pertenecen a la física. De esta manera Leopold y Langbein (1962, Pág. A 1), establecen lo siguiente con referencia al estado de la corriente graduada: "Una contribución hecha por el concepto de la entropía es que el 'perfil de equilibrio' del río graduado es el perfil de máxima probabilidad y en el que la entropía es distribuida igualmente, constituyendo una especie de curva isentrópica".

La actividad que intenta relacionar las generalizaciones geológicas con la teoría fisicoquímica no es un juego practicado por los geólogos para su propio beneficio ni tampoco lo hacen con el fin de aumentar nuestra confianza en estas generalizaciones proporcionando para ellas pruebas de apoyo indirecto. Es la esperanza de aquellos que están empeñados en esta actividad a la que estoy tentado de llamar "geología teórica", en la que al colocar una generalización geológica dentro de una situación teórica se obtendrá para ella una formulación más precisa y rigurosa, y de esta manera puede aumentar su utilidad. Detrás de esta consideración está, indudablemente, el enunciado de Leopold y Langbein (1962, Pág. A 1), "El presente trabajo es un intento por aplicar otra ley de la física a lo expuesto con el propósito de obtener algún conocimiento adicional dentro de las distribuciones de la energía y de su relación a los cambios de las formas terrestres en el espacio y en el tiempo".

Una de las principales objeciones a la opinión de que la geología es "descriptiva" y que en algún sentido no ha "madurado", es que el objetivo del conocimiento y de la teoría geológicos no está agotado por ningún concepto ni nunca lo ha estado, por lo que puede ser construido con términos geológicos especiales sólo en función del lenguaje común. Las leyes que proporcionan gran parte de la sistematización de nivel superior en la geología no están, quizá, asociadas directamente con una teoría de la geología a causa de que son leyes sin una referencia geológica particular, las cuales son reconocidas, de ordinario, como pertenecientes a la teoría de la química y de la física. Considerar a la ciencia de la geología constituida precisamente por aquellos enunciados que contienen referencias geológicas particulares vale tanto como la decapitación artificial total de una estructura teórica más bien altamente organizada. Una distinción arbitraria entre los términos físicos, químicos y geológicos no tiene aquí significado. El papel que es significativo es el jugado por las

leyes y los términos, no importa cuál sea su origen o cuáles podamos escoger para llamarlos así en la teoría de la geología. La geología moderna se apropia de *toda* la teoría fisicoquímica contemporánea y presenta, en base a esta arrogación, un alto grado de integración lógica.

Por ejemplo, Leet y Judson (1954, Pág. ii) en el enunciado citado arriba han sugerido que la geología no solamente inspira a la teoría fisicoquímica, sino que también puede hacer contribuciones a la misma. Al menos, esto es indudable en algún sentido puesto que los problemas geológicos pueden servir para estimular las investigaciones de naturaleza principalmente física o química, particularmente si surgen en campos como el de la geoquímica, el de la geofísica y el de la cristalografía, en los que es difícil trazar un límite entre la geología y las demás ciencias físicas. Sin embargo, tradicionalmente los geólogos no se han interpuesto con las teorías no geológicas de una manera muy directa. La teoría fisicoquímica de su época es una teoría común, la cual tiende a ser aceptada por cada generación de geólogos.

Origen de las generalizaciones geológicas

Se ha dicho con frecuencia que la geología es "inductiva". Puede suceder que en algunos casos este calificativo tenga por objeto señalar el hecho de que las explicaciones propuestas por los geólogos son más probabilistas que deductivas. Sin embargo, por lo general, pienso que el término "inductivo", cuando se aplica a la geología tiene por objeto llevar a las generalizaciones de la geología a la consideración de generalizaciones inductivas. Si estamos de acuerdo en que muchas de las generalizaciones geológicas no son teóricas, entonces esta última opinión de la naturaleza inductiva de la geología es totalmente aceptable puesto que, como Nagel ha señalado (1961, Pág. 85), "Un corolario inmediato de la diferencia entre leyes y teorías experimentales ya discutidas es que, mientras las primeras podrían, en principio, ser propuestas y afirmadas como generalizaciones inductivas basadas sobre las relaciones que se encuentran contenidas en los datos observados, éste nunca puede ser el caso para la segunda". El problema de los procesos por los cuales son formuladas las leyes teóricas está más allá del objeto del presente trabajo.

Aunque el proceder general de la geología es explicar una generalización que ha sido formulada en forma inductiva en función de generalizaciones de alto nivel empleando las leyes de la física y de la química, es posible comenzar con este tipo de generalizaciones y deducir de ellas otras de significado y utilidad geológicos. De esta

manera expresamos que la regla de las fases mineralógicas se ha deducido de la regla de las fases de Gibbs (véase, por ejemplo, Turner, 1948, Pág. 45). Es mi sentir que del método deductivo pueden esperarse los avances más dramáticos en la teoría de la geología.

Principio del uniformismo

Existe un amplio acuerdo entre los geólogos que algún principio especial de uniformidad es ingrediente fundamental de toda deducción geológica. Longwell y Flint (1955, Pág. 385) van más lejos al decir que, "El total del proceso mental implicado en la reconstrucción de una historia antigua está basado en la piedra angular de la filosofía geológica, el principio del uniformismo, que es posiblemente la contribución más grande que han hecho los geólogos al pensamiento científico". A pesar de este acuerdo general acerca de la importancia del principio, los geólogos difieren ampliamente en sus opiniones en cuanto a su significado. De hecho, son tan divergentes estas opiniones que forzosamente se llega a la conclusión de que ha habido poca o ninguna resolución de los problemas a que dieron lugar las famosas controversias entre los "uniformistas" y los "catastrofistas" en el siglo XIX. La controversia subsiste a través de los problemas que no han sido resueltos. Son utilizables cierto número de informes de la historia del principio del uniformismo, incluyendo uno reciente, por cierto excelente, el de Hooykaas (1959).

Hay dos problemas principales a los que les concierne el concepto de la uniformidad. Al primero le interesan los fundamentos que son el apoyo de la afirmación de la uniformidad. Al segundo le incumbe la naturaleza precisa de la restricción que él mismo impone.

En cuanto al fundamento sobre el cual se apoya la afirmación de la uniformidad, sería difícil, si no imposible, discutir cualquier apoyo empírico significativo relacionado con la idea de que los "procesos geológicos" del pasado fueron semejantes a los del presente, sencillamente porque los enunciados acerca de los procesos deben ser comprobados en función de enunciados relacionados a condiciones particulares, ya que no pueden hacerse observaciones de las condiciones particulares pasadas. Por supuesto, formulamos enunciados acerca de las condiciones pasadas particulares, los cuales, sin embargo, no están apoyados por observaciones directas, sino más bien por deducciones en las que está implícita alguna suposición de uniformidad. *En función de la forma en que opera un geólogo, no hay pasado sino hasta después de que se ha hecho la suposición de uniformidad.* En efecto, elaborar enunciados acerca del pasado sin algo de suposición inicial de uniformidad, es permitir, en todo caso, cualquier enunciado relativo al pasado. El interés principal de

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES

los geólogos, como lo he sugerido al principio, radica en deducir y comprobar enunciados singulares relacionados con el pasado. El principio de la uniformidad representa, entre otras cosas, una restricción establecida en los enunciados que pueden ser admitidos para un argumento geológico, inicialmente al nivel de la deducción histórica primaria. Una vez hecha la suposición de la uniformidad para los propósitos de la deducción histórica primaria, puede ser posible "demostrar" alguna uniformidad o puede haber una carencia de la misma, lo cual depende, en primer lugar, de qué tan estrictamente se aplique el principio de la uniformidad. El punto esencial consiste en que la suposición de este principio debe preceder a la demostración de la uniformidad y no a la inversa. Al menos, en principio, sería posible hacer algunas suposiciones acerca de las condiciones particulares en algún instante en el pasado, y en base a esta suposición, "comprobar" si alguna ley se mantuvo en aquel tiempo. No obstante, los geólogos han escogido el camino opuesto, al hacer algunas suposiciones acerca de la uniformidad de las relaciones expresadas en una ley y sobre esta base derivan y comprueban algunos enunciados singulares acerca del pasado.

La opinión de que la uniformidad de la "naturaleza" o de los "procesos geológicos" representa una *suposición*, es muy antigua, y se ha hecho con el fin de permitir que los geólogos prosigan con el trabajo de la deducción histórica. En el trabajo de Hutton (1788, Págs. 301-302), por ejemplo, encontramos esta opinión expresada en el enunciado, "Hemos estado representando el sistema de esta Tierra como si procediese con una cierta regularidad, lo cual quizá no suceda en la naturaleza, pero es necesario para nuestra clara concepción del sistema de la naturaleza". Y Lyell (en una carta a Whewell, 1837, de "Life, Letters and Journals", 1881, Vol. II, Pág. 3) expresa una opinión similar cuando establece,

> Aquella intensidad de la misma o de otras fuerzas terrestres puede ser efectiva; nunca negué su posibilidad, aunque es conjetural. Lamenté que al intentar explicar los fenómenos geológicos, los prejuicios siempre hayan estado del lado malo; siempre ha habido una disposición para razonar *a priori* sobre la violencia extraordinaria y lo repentino de los cambios, tanto en la corteza terrestre inorgánica como en los tipos orgánicos, en vez de intentar construir teorías vigorosas de acuerdo con las operaciones ordinarias de la naturaleza.

El principio del uniformismo no es formulado de ordinario como una *suposición* por los geólogos contemporáneos.

Si este principio se considera como un invento metodológico más que como una generalización empírica, sería un intento para interpretarlo, un paso más hacia las soluciones de los problemas que lo

rodean. ¿"Cuáles de los enunciados en la teoría de la geología deben considerarse fuera de los límites del tiempo"? es una pregunta que podría contestarse en relación con dicho intento.

Es recomendable considerar en la geología a todo enunciado descriptivo singular dentro de los límites del tiempo, cuando menos hasta cierto grado, sencillamente a causa de que la pretensión principal del experimento geológico es "atar" temporalmente los enunciados descriptivos singulares, lo cual es otra forma de decir que aquella pretensión del experimento geológico es producir una crónica histórica. Los enunciados descriptivos singulares pueden aplicarse en diferentes épocas y diferentes lugares, pero no puede suponerse que puedan aplicarse en todas las épocas, en todos los lugares y consecuentemente no puede suponerse su uniformidad para el propósito de la deducción.

Hay algunos geólogos que no estarían de acuerdo con esta opinión en relación a los enunciados descriptivos singulares, razón por la que podría ser acusado de estar proponiendo lo más obvio. Antes de hacer la acusación, sin embargo, consideremos un pasaje de Read (1957, Pág. 26).

> Esta dificultad de confrontar el metamorfismo estático ha sido abordada por Daly, quien lo encuentra adecuado para relajar la rigidez de la doctrina del uniformismo. Admite que comparado con la potencia que se le adjudicó en el Precámbrico, el metamorfismo de carga debe haber sido de una importancia relativamente pequeña en las eras geológicas posteriores. Para explicarlo, supone que el gradiente térmico de la Tierra fue excesivo durante la formación del Precámbrico, de tal manera que el metamorfismo regional fue posible bajo una cubierta moderada. Considera que esta suposición relativa a una superficie más caliente de la Tierra, 'no es más peligrosa que la explicación que se ajusta a todo, o a casi todo el metamorfismo regional por movimientos orogénicos'. Estoy de acuerdo... que el uniformismo abarca los acontecimientos de 500 millones de años de historia geológica registrados en el Cámbrico y rocas fosilíferas posteriores, aunque puede muy bien no ser válido para los 2 000 millones de años del Precámbrico.

Sugerir que el gradiente térmico de la Tierra fue excesivo durante el Precámbrico en comparación a como lo es actualmente, es hacer una afirmación acerca de las condiciones particulares en el pasado, la cual quizá no tiene bases tan seguras como muchas otras, pero es un tipo de deducción retrodictiva que frecuentemente realizan los geólogos. Pretender que este enunciado requiere un relajamiento de la doctrina del uniformismo, equivale, en principio, a pretender afirmar que la topografía de Oklahoma durante el Pérmico era diferente de la del presente, requiriendo, por lo tanto, un relajamiento similar.

Los enunciados que el geólogo desea considerar fuera de los límites del tiempo son de forma general, lo que se revela por el hecho de que él habla de la uniformidad de "causa" o "proceso" o "principio" o "ley", conceptos que son expresados en los enunciados generales. El problema de la severidad con la que debe aplicarse la suposición del uniformismo finalmente gira alrededor de la cuestión de *cuál* de los muchos enunciados de forma general en la teoría de la geología deben considerarse sin restricción temporal.

Los geólogos se expresan generalmente del problema del uniformismo como si fuera un problema en el que de un modo u otro las relaciones expresadas en las leyes científicas pudieran ser consideradas como constantes a través del tiempo geológico. ¿Es esto realmente el problema? ¿Se sienten molestos los geólogos, por ejemplo, porque de un modo o de otro la relación expresada en la ecuación $F = G \cdot m_1 m_2 / d^2$ puede considerarse como independiente del tiempo? Ocasionalmente pueden especular acerca de la "uniformidad en la naturaleza" pero tales especulaciones no entran en la investigación geológica de manera determinante. Aquí de nueva cuenta se recurre a la autoridad de la teoría fisicoquímica. Si una expresión está fuera del límite de tiempo en esta teoría, está fuera del límite de tiempo en la teoría geológica, particularmente si dicha expresión se considera como una "ley fundamental". Además, si se formulara una ley en la que la relación expresada fuera una función del paso del tiempo histórico, y si esta ley se elevara como para ser considerada como una parte válida de alguna teoría física o química, probablemente no habría renuencia por parte de los geólogos, para aceptarla, ni su aceptación significaría que abandonaban el principio del uniformismo. La opinión de que aquella "ley" se considera como uniforme, ha sido sugerida muchas veces antes, por ejemplo, en el siguiente enunciado de Moore (1958, Pág. 2): "Como fundamento, aceptamos la conclusión de que las leyes de la naturaleza son inmutables".

Esta no es solamente la forma más general de una ley fundamental considerada fuera de los límites del tiempo, sino que también son casos de sustitución y otras consecuencias lógicas de dicha ley. Por ejemplo, debemos estar de acuerdo que en cualquier momento y en cualquier lugar dos masas esféricas de 0.5 kg cada una, de densidad uniforme y con sus centros separados 30 cm, la fuerza de atracción entre ellas será de 3.18×10^{-11} kg por peso. No obstante, de aquí no obtenemos la conclusión de que la atracción entre dos objetos *cualesquiera* en *cualquier momento* es 3.18×10^{-11} kg por peso, pues para que esto se verifique sería necesaria la suposición de la uniformidad temporal de ciertas condiciones particulares. Esta fuerza de atracción particular se deduce únicamente donde se obtienen realmente las condiciones antecedentes especificadas. Es una cuestión de verificación independiente el hecho que se hayan obtenido en efecto, en determinado tiempo y lugar, éstas o, para el caso, cualesquier condiciones particulares. La "ley" no cambia, pero los diferentes ejemplos de sustitución de la ley son aplicables a diferentes épocas y lugares. El problema inmediato al que se encara el geólogo no es el de la uniformidad, sino el de determinar cuál del número infinito de ejemplos de sustitución de una ley general, puede ser aplicable en un caso particular.

Consideremos un enunciado geológico en el cual se expresa la duda de la extensión temporal. "Probablemente sólo el tiempo y el progreso de los estudios futuros pueden decirnos dónde nos asimos con demasiada tenacidad al principio del uniformismo en nuestra renuencia a aceptar totalmente las fluctuaciones glaciales rápidas comprobadas por el método del radiocarbono". (Horberg, 1955, Pág. 285.) El autor ha sugerido que hubo una generalización eficaz concerniente al ritmo de la fluctuación glacial, quizá apoyada por la observación de glaciares existentes cuya validez se ha hecho dudosa a causa de nuestra mayor seguridad en otra generalización. ¿No hay algo suspicaz tocante a un enunciado al que se le supone un cierto grado de extensión temporal y que encierra una alusión a un ritmo particular o a una variación de ritmos limitada? Hay muchas leyes físicas en la forma de ecuaciones que permiten el cálculo de un ritmo particular cuando los valores particulares son sustituidos por variables. La forma insustituible de una ecuación física, sin embargo, no encierra ninguna alusión a un ritmo particular. El ritmo de la fluctuación glacial no permanece constante a través del tiempo más que la fuerza de atracción entre objetos. El ritmo del avance y retirada glaciar depende de un número de variables, entre las cuales se cuentan la topografía, el espesor del hielo y la temperatura de la atmósfera. A menos que los valores específicos se puedan sustituir para cada una de estas variables, no puede aplicarse completamente una ley del movimiento glaciar en forma significativa y sin duda, no pudo ser invocada para que sirviera de base a la afirmación de que el ritmo del movimiento glaciar tuvo alguna uniformidad en el tiempo geológico. El problema de Horberg no implicó la cuestión de la "uniformidad de la naturaleza" sino más bien, en todo caso, si él estuvo o no en una posición para fijar valores particulares para cada una de las variables de las cuales pudo suponerse que dependió el movimiento glaciar. Ninguna explicación del concepto de la "uniformidad de la naturaleza" ni de la "causación universal" pudo haber servido como base para la solución de este problema.

BIBLIOTECA MUNICIPAL MANUEL MEDEIROS
JUIZ DE FORA — M.G.

En este mismo punto se presenta otro problema. ¿Hay una ley del movimiento glaciar que se haya formulado con la suficiente precisión para concedernos la facultad de fijar valores específicos a las variables pertinentes? La respuesta tendría que ser que no la hubo. Lo que puede ser útil es una generalización formulada imprecisamente, con toda probabilidad de forma normativa, la cual puede servir como base para una variedad de deducciones, pero no como base para el cálculo del ritmo del avance y de la retirada del glaciar durante un intervalo particular. La universalidad temporal de las generalizaciones probabilistas y normativas formuladas con imprecisión siempre serán conjeturas, sencillamente porque es característico de tales enunciados que contengan lo que debe ser considerado como alusiones latentes a condiciones particulares. Estamos capacitados para aumentar nuestra seguridad en la universalidad temporal de una generalización al formularla con una mayor precisión. Sin embargo, no debe olvidarse que el progreso en la geología ha dependido de la buena disposición de los geólogos para suponer la uniformidad temporal de una gran variedad de generalizaciones formuladas imprecisamente.

Hay un problema filosófico ya muy antiguo al que le concierne la uniformidad de la naturaleza, que ha sido discutido largamente en el pasado y se seguirá discutiendo en el futuro. Es un problema para todos y no especial para los geólogos. A este problema especial, le concierne primero la utilidad de leyes apropiadas, y segundo, la aplicabilidad de leyes a situaciones particulares. En el intento por resolverlo, muchos geólogos están empeñados a su vez en resolver el problema que tiene como meta aumentar la precisión con la que se deben formular las generalizaciones geológicas. Continúan observando en el campo, experimentando en el laboratorio, operaciones siempre en aumento hechas con papel y lápiz dentro de esta armazón teórica. El último procedimiento puede ser el más satisfactorio de todos a causa de que nunca estamos tan seguros de la precisión de una ley como cuando se le ha hecho formar parte de alguna teoría.

La formulación precisa de las generalizaciones geológicas no puede esperarse que conduzca a una solución inmediata de todos los problemas a que se enfrentan los geólogos contemporáneos. El uso principal a que se destinan las generalizaciones geológicas es como una base para las deducciones explicatorias que permiten la derivación y comprobación de enunciados singulares acerca del pasado. Una generalización no puede usarse de esta manera a menos que los valores específicos puedan sustituirse por la mayor parte de las variables incluidas en ella. Un valor específico sustituido por una variable en una generalización empleada en una deducción retrodictiva

puede haber sido determinado en base a otra deducción retrodictiva la cual depende en sí de alguna generalización. La interdependencia necesaria de la perpleja variedad de deducciones geológicas retrodictivas unas sobre otras, parece, a veces, resultar de un apilamiento de incertidumbre tras incertidumbre. Sin embargo, es notablemente alta la extraordinaria seguridad en los enunciados geológicos tocantes al pasado como las descripciones confiables de condiciones particulares, en lugares particulares, en épocas particulares. La base de esta seguridad es que no solamente son deducciones retrodictivas que dependen en gran extensión una de otra, sino que sirven como los únicos medios de verificación de una para la otra. Cada enunciado acerca del pasado es comprobado contra otro enunciado acerca del mismo. Laboriosamente construimos la crónica, seleccionando, eliminando y modificando a medida que procedemos, llevando a cuestas, además de un aparato deduccional inmensamente complicado, nuestro discernimiento disciplinado.

REFERENCIAS

Billings, M. P., 1954, Structural geology: New York, Prentice-Hall, 514 pp.

Braithwaite, R. B., 1953, Scientific explanation: New York, Cambridge Univ. Press, 375 pp.

Bucher, W. H., 1933, The deformation of the earth's crust; an inductive approach to the problems of diastrophism: Princeton, Princeton Univ. Press, 518 pp.

Bunge, M., 1961, Kinds and criteria of scientific laws: Phil. Sci., vol. 28, pp. 260–281.

Carnap, R., 1956, The methodological character of theoretical concepts, p. 38–76 *in* H. Feigl and M. Scriven, eds., Minnesota Studies in the Philosophy of Science, vol. 1. The foundations of science and the concepts of psychology and psychoanalysis: Minneapolis, Univ. Minnesota Press, 346 pp.

Dunbar, C. O., and Rodgers, J., 1957, Principles of stratigraphy: New York, John Wiley, 356 pp.

Friedman, G. M., 1961, Distinction between dune, beach, and river sands from their textural characteristics: J. Sediment. Petrology, vol. 31, pp. 514–529.

Hempel, C. G., 1958, The theoretician's dilemma; a study in the logic of theory construction, pp. 37–98 *in* H. Feigl, M. Scriven, and G. Maxwell, eds., Minnesota Studies in the Philosophy of Science, vol. 2. Concepts, theories, and the mind-body problem: Minneapolis, Univ. Minnesota Press, 553 pp.

——— and Oppenheim, P., 1948, Studies in the logic of explanation: Phil. Sci., vol. 15, pp. 135–175.

Hooykaas, R., 1959, Natural law and divine miracle: Leiden, E. J. Brill, 237 pp.

Horberg, L., 1955, Radiocarbon dates and Pleistocene chronological problems in the Mississippi Valley region: J. Geol., vol. 63, pp. 278–286.

Hutton, James, 1788, Theory of the earth: Roy. Soc. Edinburgh, Tr., vol. 1, pp. 209–304.

———, 1795, Theory of the earth with proofs and illustrations, vol. I: Edinburgh, Cadell, Junior and Davies, 620 pp.

Kay, M., 1951, North American geosynclines: Geol. Soc. Am., Mem. 48, 143 pp.

KITTS, D. B., 1963, Historical explanation in geology: J. Geol., vol. 71, pp. 297–313.
LEET, L. D., and JUDSON, S., 1954, Physical geology: New York, Prentice-Hall, 466 pp.
LEOPOLD, L. B., and LANGBEIN, W. B., 1962, The concept of entropy in landscape evolution: U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 500-A, pp. A1–A20.
LONGWELL, C. R., and FLINT, R. F., 1955, Introduction to physical geology: New York, John Wiley, 432 pp.
LYELL, CHARLES, 1881, Life, letters and journals of Sir Charles Lyell *Bart*, Mrs. Lyell, ed.: London, John Murray, 489 pp.
MACKIN, J. H., 1938, The origin of Appalachian drainage—a reply: Am. J. Sci., vol. 236, pp. 27–53.
———, 1948, Concept of the graded river: Geol. Soc. Am., B., vol. 59, pp. 463–512.
MOORE, R. C., 1958, Introduction to historical geology, 2nd ed.: New York, McGraw-Hill, 656 pp.
NAGEL, E., 1961, The structure of science: New York and Burlingame; Harcourt, Brace, and World, 618 pp.
READ, H. H., 1957, The granite controversy: New York, Interscience publishers, 430 pp.
SCRIVEN, M., 1959, Truisms as the grounds for historical explanations, pp. 443–475 *in* P. Gardiner, ed., Theories of history: Glencoe, Illinois, The Free Press, 549 pp.
TURNER, F. J., 1948, Mineralogical and structural evolution of the metamorphic rocks: Geol. Soc. Am., Mem. 30, 342 pp.
VON ENGELN, O. D., 1942, Geomorphology: New York, Macmillan, 655 pp.
———, and CASTER, K. E., 1952, Geology: New York, McGraw-Hill, 730 pp.
WELLER, J. M., 1960, Stratigraphic principles and practice: New York, Harper, 725 pp.

V. E. McKELVEY
U.S. Geological Survey

La Geología como el Estudio de Experimentos Naturales Complejos[1]

La geología ofrece la oportunidad casi única de observar los resultados de los procesos que no solamente implican la acción recíproca de muchas variables y masas más grandes que las que puedan ser manejadas en el laboratorio, sino que también se extiende sobre muchos de los más grandes periodos de tiempo revelando entonces los efectos de reacciones demasiado lentas para observarlas bajo las condiciones ordinarias. Otras ciencias naturales, por supuesto, ofrecen oportunidades similares para observar la interacción de muchas variables a gran escala, pero ninguna, salvo la astronomía, observa el registro completo y los resultados de "experimentos naturales" que han requerido miles de millones de años para consumarse.

Debido a que observa los resultados de experimentos naturales complejos conducidos a gran escala tanto en el tiempo como en el espacio, la geología es una ciencia exploratoria que ofrece la oportunidad de observar fenómenos y procesos impredecibles en base al conocimiento y a la teoría adquiridos y desarrollados solamente por las ciencias de laboratorio. En el pasado, desde luego la geología ha guiado conceptos y puesto límites al objetivo de las ciencias de laboratorio y lo continuará haciendo en el futuro. Más allá de esto la geología ofrece medios de resolver una amplia variedad de problemas tan complejos que pueden ser atacados con experimentos artificiales.

[1] En años recientes he discutido el significado de la geología como la ciencia para explorar y para resolver problemas, con un grupo de amigos cuyas ideas estoy seguro de reflejar en este ensayo. Deseo agradecer personalmente las discusiones estimulantes sobre el tema con J. R. Balsley, W. H. Bradley, R. M. Garrels, R. A. Gulbrandsen y H. L. James y las gracias por una estimulación semejante así como por las sugestiones específicas sobre el original a C. A. Anderson, Michael Fleischer, E. D. Jackson y E. M. Shoemaker.

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M.G.

Al igual que los experimentos artificiales, los de la naturaleza son de poco valor a menos que sus resultados sean cuidadosamente observados y examinados en el marco de la investigación del problema y de las hipótesis imaginarias. Sin embargo, insinuándose de esta manera han conducido al descubrimiento de nuevos fenómenos y a la formulación de principios que de otra manera no hubieran podido desarrollarse. Unos cuantos ejemplos ilustrarán este punto de vista.

Descubrimiento de lo impredecible

Las observaciones de los fenómenos naturales es la raíz de la ciencia y la mayoría de estos fenómenos fueron no predecibles en alguna etapa en base al conocimiento humano acumulado y a la teoría. Quizá más que otros dominios accesibles a la observación humana, la Tierra ha sido la fuente del descubrimiento de los fenómenos que han estimulado la investigación científica o que han planteado problemas desafiantes que con el tiempo han conducido a los principios para formar la trama de la ciencia física. De esta manera las observaciones de los minerales plantearon muchos de los problemas que han estimulado el desarrollo de la química, la química de los cristales, la cristalografía y la óptica; las observaciones de las propiedades de los minerales y compuestos de uranio formaron la base de la radioquímica y de la física nuclear y el descubrimiento de los fenómenos naturales de la fluorescencia, luminiscencia y magnetismo jugaron papeles similares en otras ramas de la física. Entonces, en el momento que estos fenómenos fueron observados no pudieron haber sido predichos por el conocimiento y la teoría útiles y en realidad la mayoría serían impredecibles actualmente aunque se supiera que no existen en la naturaleza.

En relación a esto no me interesaría hacer mucho hincapié al llamar la atención sobre el estudio de la Tierra, sus procesos e historia como fuente del descubrimiento de fenómenos estimulantes de la ciencia en general, si esta forma de contribución fuese una cosa del pasado. No obstante, el hecho es que la geología juega todavía un papel importante como ciencia exploratoria y tiene oportunidades abundantes para hacerlo en el futuro. Algunos de estos descubrimientos pueden llegar en la forma de simples observaciones. Por ejemplo, el descubrimiento de T. F. W. Barth y E. Posnjak de la estructura inversa de las espinelas el cual contribuyó, en forma significativa, a la teoría y desarrollo de los semiconductores y el descubrimiento de K. J. Murata de que la fluorescencia de la halita y calcita naturales, previamente atribuida a la presencia de manganeso, realmente ocurre cuando sólo dos elementos activantes, plomo y manganeso, están presentes. Este fenómeno condujo a la síntesis de nuevos compuestos fluorescentes. Algunos de los descubrimientos más importantes, sin embargo, son probablemente los fenómenos complejos, incluyendo los de naturaleza secular, cuyo reconocimiento depende de la colección y de la síntesis y de muchos y quizá diversos datos. Los conceptos de la evolución biológica, geosinclinales plegados y la inversión periódica de la polaridad del campo de la Tierra son ejemplos de procesos seculares descubiertos por la síntesis y el análisis de muchas y diversas observaciones geológicas.

El proceso de unir los fragmentos y analizar las observaciones geológicas aisladas es notoriamente difícil y lento no solamente a causa del número y diversidad de los fenómenos implicados sino también debido a su escala. Miles de kilómetros cuadrados pudieron haber sido cartografiados, secciones estratigráficas medidas y correlacionadas, volúmenes de datos acumulados sobre las propiedades de las rocas y muchas hipótesis comprobadas y descartadas aun antes de que pudiera ser formulada una relación empírica válida sobre tales datos.

La fábula de los ciegos y el elefante (las conclusiones incorrectas alcanzadas por los observadores cuya visión limitada es comparada con la amplitud y complejidad del problema) ha sido citada algunas veces para ridiculizar la operación casual del razonamiento inductivo. Sin embargo, este cuento lleva en su intención un significado más profundo que el que generalmente se le reconoce en su efecto y es el de que solamente por una exploración paciente se puede descubrir un elefante o un geosinclinal plegado. Una vez que se ha establecido la existencia del elefante pueden deducirse muchas de sus otras características, pero la teoría científica acumulada aún no es y pudiera jamás ser adecuada para predecir, en primer lugar, su existencia.

¿Cuáles son las áreas en las que probablemente descubramos elefantes geológicos en el futuro? Como estoy hablando de fenómenos que son impredecibles, difícilmente puedo ser muy específico; no obstante, algunos cuantos ejemplos de áreas pobremente estudiadas que pueden ofrecer lo inesperado están a la disposición. Seguramente que el tema de la estructura y composición corticales es uno de tantos campos prometedores; la relación entre estructura local, espesor y composición de las rocas de la corteza superior y las propiedades similares en la corteza inferior y manto superior, todavía son escasamente conocidas y puede esperarse que ofrezcan relaciones no imaginadas por ahora. En la estratigrafía y en la paleontología los datos adecuados que permitan una opinión comprensiva de los re-

gistros paleogeográficos, paleoclimáticos, paleoecológicos y paleotectónicos se están sintetizando actualmente y con toda probabilidad sus análisis descubrirán relaciones que no han sido anticipadas en el presente: entre el ritmo y la dirección de la evolución biológica y los controles ambientales, entre la historia geológica y los cambios seculares (quizás afines a cambios no direccionales o evolutivos en la composición del océano y de la atmósfera) en la composición de las rocas sedimentarias y entre la historia tectónica y los cambios climáticos. Los datos sobre la abundancia de los elementos, especialmente los menores y sobre las masas de las principales unidades de roca de la corteza terrestre están aún tan esparcidos y tan pobremente integrados que todavía podemos esperar sorpresas sobre el tema de la composición de la corteza terrestre y sus componentes principales. Generalmente hablando, los datos que se acumulan sobre la estructura de las rocas (la longitud de onda y amplitud de los pliegues; la distribución, orientación y frecuencia de las fracturas, la magnitud del desplazamiento a lo largo de ellas y la orientación de los minerales dentro de las mismas) no han sido sintetizados y analizados con respecto a factores como magnitud del área, espesor y composición de las unidades deformadas, profundidad de sepultamiento o carga y duración de las fuerzas deformantes. Finalmente la integración del conocimiento de todas estas áreas será necesaria para la comprobación de conceptos como deriva continental y la expansión o encogimiento de la Tierra. Sin duda otros elefantes serán descubiertos en el proceso.

Uso de los experimentos naturales en la solución de problemas complejos

Al utilizar experimentos concluidos de la naturaleza en la solución de problemas que implican gran número de variables, como una masa grande o un largo periodo de tiempo, que no pueden ser atacados satisfactoriamente en el laboratorio, comenzamos con el problema o cuestión y observamos los resultados de experimentos ya ejecutados. ¿Cuáles minerales se precipitan de una fusión de silicatos compleja dando tiempo para que las reacciones lentas alcancen el equilibrio? Los diferenciados ígneos y sus menas ofrecerán la respuesta que no puede ser obtenida de ninguna otra manera. ¿Los minerales específicos formados de ordinario a altas temperaturas pueden formarse a bajas temperaturas contando con un tiempo dado? Su presencia o ausencia como minerales autigénicos en las rocas sedimentarias puede sugerir la respuesta (e incidentalmente en el trabajo de Charles Milton sobre los minerales autigénicos formados

en depósitos salinos se ha demostrado que la lista no solamente incluye formas tan conocidas como feldespatos, sino también muchas otras formas de alta temperatura como riebeckita y leucosfenita). ¿Cuáles de las sustituciones diádocas, incluyendo las doblemente compensadas, pueden ocurrir en un compuesto dado? El análisis de especímenes minerales de una variedad de ambientes geológicos es adecuado para proporcionar una respuesta más comprensiva que los experimentos artificiales. ¿Cuáles son las solubilidades relativas de los minerales refractarios en soluciones acuosas diluidas? Su comportamiento durante el intemperismo proporcionará datos cualitativos valiosos y si son analizados con respecto a las características de las soluciones de los suelos, del escurrimiento del agua de lluvia y de la temperatura media anual, es posible obtener respuestas más cuantitativas. ¿Hasta qué grado se deforman plásticamente los minerales quebradizos y bajo qué condiciones físicas? Los experimentos naturales suministran un parámetro (tiempo) que no puede ser evaluado en el laboratorio.

La utilidad de los experimentos naturales en la solución de problemas, depende, por supuesto, del grado en que se establecen las condiciones del experimento y esto requiere el uso de los datos de campo y de laboratorio. Por ejemplo, las condiciones relativas bajo las cuales son depositados los minerales singenéticos del agua marina pueden establecerse del análisis de litofacies las cuales se han depositado sincrónicamente de acuerdo con las pruebas geológicas. Sin embargo, si los datos físicos y químicos son útiles para unos cuantos de los minerales, podemos interpolar las condiciones bajo las cuales los otros han sido depositados. Utilizando esta aproximación, H. L. James demostró del análisis estratigráfico que los sulfuros de hierro, los silicatos de hierro, los carbonatos de hierro y los óxidos de hierro, hematita y (muy sorprendentemente, pues de ordinario se piensa que es un mineral de alta temperatura) magnetita, son depositados sincrónicamente en una secuencia lateral regular que refleja cambios progresivos en potencial redox y pH. R. P. Sheldon, mi colaborador en el estudio de la familia de los sedimentos de la fosforita, definió más estrechamente, del análisis de las litofacies y de los datos físicos y químicos existentes, las condiciones físicas y químicas en el mar de Fosforia, bajo las cuales fueron depositadas lutita negra, fosforita, pedernal, carbonatos, capas rojas y salinas en un ambiente que cambiaba lateralmente variando desde la parte más profunda de la plataforma hasta las lagunas costeras.

El trabajo de E. M. Shoemaker y de otros sobre los cráteres de meteoritos ilustra el uso deliberado de la geología en la solución de los problemas de interés multidisciplinario. Las mediciones de la

profundidad y de los radios de los cráteres formados artificialmente por explosivos químicos y nucleares y los radios de las mezclas debidas al choque, mostraron una relación consistente de provecho y los rasgos similares en los cráteres de los meteoritos parecen sujetarse a las mismas leyes de la escamación. Las dimensiones y otros rasgos de los cráteres de meteoritos naturales son equivalentes a los formados por el impacto de explosiones que varían de decenas a centenas de megatones. El estudio de su estructura y de otros rasgos, por lo consiguiente, proporciona datos valiosos al predecir los efectos de los explosivos nucleares que son más potentes que los probados artificialmente en el pasado, así como los efectos de explosiones nucleares en tipos de rocas, tales como granitos y calizas, en las cuales los dispositivos nucleares no han sido probados aún. Las pruebas artificiales han sido limitadas hasta ahora a unos cuantos tipos de roca y suministran una base insignificante para predecir los efectos de estructuras naturales, como juntas, sobre la forma del cráter. Un experimento natural, el Cráter Meteórico de Arizona concluido en calizas agrietadas, muestra, sin embargo, que las juntas influyen en la forma del cráter, pues el bosquejo del Cráter Meteórico es casi cuadrado y las diagonales de esta figura corresponden a la dirección de los dos principales sistemas de juntas. Es interesante notar también que los descubrimientos de los polimorfos de sílice de alta presión, coesita y estishovita, por E.C.T. Chao y colaboradores en impactitas asociadas con cráteres de meteoritos demostraron por primera vez, que estos cambios de fase de alta presión podrían ser producidos por presión de choque de duración extremadamente corta.

El poder de los experimentos de laboratorio radica en gran parte no solamente en el hecho de que pueden estar estrechamente controlados, sino de que pueden ser repetidos hasta aislar y medir el efecto de una sola variable. Sin embargo, esta ventaja no se pierde completamente en los experimentos naturales, pues experimentos similares pueden tener lugar bajo diferentes circunstancias que llevan luz a los efectos de los varios factores. Por ejemplo, de acuerdo con E. D. Jackson (comunicación personal, 1963), la composición del líquido magmático original en el complejo Stillwater Precámbrico de Montana y el todavía líquido lago de lava de Kilauea Iki, Hawai, es esencialmente el mismo, de tal manera que las diferencias en la historia y productos de su cristalización pueden estar relacionadas a su tamaño y posición en la corteza.

Resumen

La geología, al igual que otras ciencias, tiene muchos objetivos económicos y prácticos que en sí mismos justifican más que otra cosa,

su empeño y apoyo. Los avances en los conocimientos y principios nos habilitan para utilizar más plenamente la tierra, el agua, los minerales y las fuentes de energía de nuestro medio físico. Y si no rindiera otros dividendos, nada más por estas razones merecería un sitio destacado entre las investigaciones científicas del mundo moderno. Sin embargo, al proporcionar oportunidades que permiten observar los resultados de experimentos naturales, la colocan como uno de los principales campos exploratorios y analíticos de la ciencia, en general, capaz no solamente de descubrir problemas desafiantes sino también resolver muchas dificultades, algunas complejas, que están más allá del alcance de los experimentos artificiales.

REFERENCIAS

BARTH, T. F. W., and POSNJAK, E., 1931, The spinel structure: an example of variate atom equipoints: J. Washington Acad. Sci., vol. 21, pp. 255–258.

CHAO, E. C. T., FAHEY, J. J., and LITTLER, J., 1962, Stishovite, SiO_2, a very high pressure new mineral from Meteor Crater, Arizona: J. Geophys. Res., vol. 67, pp. 419–421.

———, SHOEMAKER, E. M., and MADSEN, B. M., 1960, First natural occurrence of coesite: Science, vol. 132, pp. 220–222.

JAMES, H. L., 1954, Sedimentary facies of iron-formation: Econ. Geol., vol. 49, pp. 235–293.

MILTON, CHARLES, 1957, Authigenic minerals of the Green River formation of the Uinta Basin, Utah: Intermountain Assoc. Petroleum Geol., 8th Ann. Field Conf., pp. 136–143.

MURATA, K. J., and SMITH, R. L., 1946, Manganese and lead as coactivators of red fluorescence in halite: Am. Mineralogist, vol. 31, pp. 527–538.

SHELDON, R. P., in press, Physical stratigraphy and mineral resources of Permian rocks in western Wyoming: U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 313-B.

SHOEMAKER, E. M., 1960, Brecciation and mixing of rock by strong shock: U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 400-B, pp. 423–425.

———, 1960, Penetration mechanics of high velocity meteorites illustrated by Meteor Crater, Arizona: Internat. Geol. Cong., 21st, Copenhagen, 1960, pt. 18, sec. 18, Pr., pp. 418–434.

BIBLIOTECA MUNICIPAL MUÑOZ

A. O. WOODFORD

Pomona College

Correlación por Fósiles

La presencia de faunas fósiles sucesivas y diferentes en las rocas estratificadas del noroeste de Europa fue demostrada por William Smith y sus contemporáneos, allá por 1815. Unos cuarenta y cinco años más tarde Darwin convenció a la comunidad científica que la evolución de faunas estratigráficamente inferiores en otras superiores es más probable que las creaciones y extinciones alternantes. Sin embargo, inmediatamente después de que apareció el "Origen de las Especies", Thomas Henry Huxley (1862, 1870), desafió la suposición, ya bien establecida en esta época, de que dos masas de rocas sedimentarias ampliamente separadas que contienen faunas o floras estrechamente similares deben haber sido depositadas al mismo tiempo. Solicitó que se hiciese una distinción precisa entre *homotaxis* (sucesiones de faunas o floras idénticas o similares) y la clase de correlación que implica el *sincronismo* (edad idéntica para cada par faunal o floral correlacionado). Huxley (1862, Pág. XLVI) afirmó "que una fauna y flora del Devónico en las Islas Británicas pudieron haber sido contemporáneas con la vida del Silúrico de América del Norte y con una fauna y flora del Carbonífero en Africa."

No tengo la intención de defender esta herejía, aunque me propongo seguir la lógica de Huxley, base de la homotaxis, hasta la posible correlación cronológica, sin hacer la suposición de que la homotaxis implica necesariamente el sincronismo.

Fósiles de guía o índices

La correlación por fósiles implica dos problemas. Primero, debemos determinar los cambios en las faunas fósiles sucesivas en una localidad; y segundo, debemos aprender cómo usar los cambios faunales al hacer las correlaciones de una columna local a otra, diferenciando cuidadosamente las correlaciones cronológicas y las de facies. Aun cuando estemos trabajando una sola columna es recomendable tener presentes dos objetivos. Paleontológicamente debemos usar nuestras colecciones de faunas fósiles —muestras relativamente pequeñas y probablemente sesgadas de la posición original mucho más grande,

de las poblaciones biológicas— como base del ordenamiento de las facies ecológicas y de las sucesiones evolutivas de los animales. Estratigráficamente la columna se subdivide utilizando las diferencias entre las especies en diferentes niveles. Nótese que los valores evolutivos y estratigráficos de las especies requieren un énfasis sobre los aspectos exactamente opuestos de las observaciones. Para la evolución enfatizamos las similitudes entre las especies en niveles sucesivos y para la correlación enfatizamos las diferencias.

La subdivisión de la columna depende de cómo están las rocas fosilíferas y qué tan claramente está expuesta la sucesión. Si la sucesión local está bien expuesta y las faunas son ricas, debemos escoger entre dos métodos posibles de trabajo: (1) el estudio estadístico de una gran colección de cada fauna (o una muestra grande de amonitas o braquiópodos u otro grupo seleccionado), un procedimiento que se consideró antes como muy tardado o (2) usar especies índices seleccionadas (o géneros) que es el procedimiento acostumbrado. Con calculadoras a la mano se hacen los cálculos por los métodos estadísticos ahora muy en boga; no obstante, para cualquier discusión general es necesario atenerse todavía a los fósiles índices.

La serie ideal de guías pertenecería a un grupo que evolucionó rápidamente, que ocurre en forma abundante en todos los tipos de rocas estratificadas y que su distribución es mundial. Los fósiles que se aproximan más estrechamente a este ideal parecen ser los graptolitos del Ordovícico-Silúrico, los fusulínidos del Paleozoico Superior, los amonoides goniatílicos del Paleozoico Superior, los amonitas de los tres sistemas del Mesozoico y unos cuantos foraminíferos plantónicos del Cretácico y Terciario y el nannoplancton aún más pequeño. Los amonitas parecen ser los mejores del conjunto. Entre los sistemas del Mesozoico, el del Jurásico, en el noroeste de Europa, incluye la sucesión fosilífera más útil, con excelente conservación y la sucesión más favorable de exposiciones bien estudiadas. Casi todo el aspecto de la subdivisión estratigráfica puede ser ilustrado por el uso de los fósiles índice del Sistema Jurásico en Europa y en cualquier parte.

Zonas del Jurásico Inferior y Medio del noroeste de Europa

Subdivisión del Jurásico. El Jurásico se ha dividido y subdividido en pisos, subpisos, zonas y subzonas. Tomaremos la zona estratigráfica como punto de partida. Sin duda las zonas no fueron las primeras divisiones del Jurásico que se inventaron. Históricamente,

varias de las formaciones de William Smith —Lías, Blue Marl, Under Oolyte, Great Oolyte, Forest Marble, Cornbrash Limestone, Kelloways Stone, Clunch Clay, Coral Rag, Oak Tree Clay, Portland Rock y Purbeck Stone— fueron reunidas para formar el Sistema Jurásico. Entonces Alcide d'Orbigny (1842-1851; resumen, Págs. 600-623) invirtió el proceso y dividió a la mayor parte del Jurásico en 10 pisos definidos paleontológicamente, utilizando principalmente amonitas. Finalmente, los pisos fueron subdivididos en zonas por d'Orbigny y otros, principalmente A. Oppel de Alemania (1856-58). El uso común para el Jurásico Inferior y Medio se muestra en la Tabla 1 en las Págs 108-109.

Zonas.[1] Una zona está formada por rocas estratificadas depositadas con una asociación particular de fósiles. Esta definición es vaga y con mucha aproximación admite la cuestión vital del tiempo; sin embargo, ha probado que puede utilizarse con facilidad. Regresaremos más tarde al tratar el posible significado cronológico de una zona.

Las implicaciones del concepto zonal son entendidas más fácilmente en relación con un ejemplo idealizado. Primero, estudiemos en detalle una sucesión de capas en una localidad *A*. Estudiamos y nombramos los fósiles ahí contenidos, poniendo de relieve los amonitas del Jurásico. Casi siempre la sucesión de amonitas es discontinua; la sección ha producido varias faunas sucesivas distintas. Escogemos una especie de cada fauna como un guía o índice especial y utilizamos su nombre para titular la fauna. Los límites de las variaciones faunales no coinciden necesariamente con los contactos de las rocas.

Repetimos el proceso en una segunda exposición *B*. La sucesión de rocas es diferente pero la sucesión faunal en *B* tiene elementos en común con *A*. En particular, algunas de las zonas faunales establecidas en *A* pueden reconocerse en *B*, aun cuando no suceda lo mismo con las otras. Lo inverso también puede ser cierto. De esta manera comparamos las sucesiones faunales en una extensión geográfica cada vez más amplia. Encontramos que algunas de las faunas en *A* pueden identificarse sobre distancias de cientos de kilómetros mientras que otras son muy locales. Por compilación de faunas sucesivas de una extensión amplia conveniente podemos construir una tabla de zonas tipo para una área en particular, tal como la del noroeste de Europa. Los nombres de las zonas tipo son derivados de especies índices faunales, utilizados para de-

[1] Los primeros seis párrafos de esta discusión sobre la zona son modificados de acuerdo con un juicio ofrecido por el Dr. J. H. Callomon de la University College, London.

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M G.

signar las series de capas estratigráficas, no entidades paleontológicas. Una zona particular se ha referido como la "Zona de *Parkinsonia parkinsoni*" o simplemente "Zona de Parkinsonia" (No. 30 en la Tabla 1).

Ahora bien, regresando a nuestro punto de partida *A*, vemos que algunas de nuestras zonas locales originales en aquel lugar han llegado a ser zonas tipo. Otras, que probaron ser más o menos de una extensión local, generalmente son añadidas a una u otra de las zonas tipo, como subzonas. Sin embargo, podemos encontrar que no todas las zonas tipo están representadas en *A*. Esto es, la sección en *A* no está completa paleontológicamente, es decir, contiene lagunas paleontológicas. Por último, nada podemos decir de las capas no fosilíferas situadas entre zonas.

Nótese que (a) para el reconocimiento de una zona necesitamos rocas y fósiles; (b) una zona está caracterizada por una *asociación* de especies (especialmente la de la localidad tipo) y las especies índice de la zona son raras o están ausentes de cualquier lugar o aun de una región; (c) es una cuestión de conveniencia, basada generalmente sobre la extensión geográfica, en cuanto a cuáles de las unidades llamamos zonas y a cuales subzonas; (d) la existencia de una tabla de zonas tipo implica una homotaxis amplia y (e) puede probarse que tal homotaxis es explicable únicamente en función del sincronismo (correlación cronológica), haciendo que la tabla zonal tipo sea también una tabla de correlación cronológica, con cada zona formada de rocas depositadas durante el tiempo que vivió el grupo de los fósiles guía zonales.

Históricamente, Oppel en 1856 sentó la primera tabla de zonas del Jurásico tipo para el noroeste de Europa. Por fortuna este acontecimiento quedó bien ubicado, pues la sucesión europea generalmente incompleta y extensamente fosilífera da variaciones para la zona geográfica del orden, de los 1 600 kilómetros y la experiencia recogida cien años después de Oppel ha demostrado que ésta es la extensión adecuada para una zona.

Algunas peculiaridades de las faunas reales se muestran en la Tabla 2, en la que se representan los amonitas de una sucesión de unidades del Bajociano Superior en las arcillas y lutitas de una cantera para ladrillos cerca de Bielefeld, al noroeste de Alemania. Están presentes, la Zona Garantiana (No. 29 de la Tabla 1) y la Zona de Subfurcatum (No. 28) y además están las unidades transicionales 28-29 y 29-30. Aquí las unidades paleontológicas son también unidades litológicas. Las capas transicionales 29-30 en la cima de la sección, son lutitas micáceas color azul negro. La zona 29 está formada de

13 metros de lutitas más calcáreas con pocos fósiles, aunque están presentes algunos amonitas, como se muestra en la tabla, y un esqueleto de reptil que fue encontrado en la base de la zona. Las capas de transición 28-29, con 12 metros de espesor son arcillas margosas algo micáceas. Los fósiles son moderadamente numerosos. La zona 28, la de *Strenoceras subfurcatum,* tiene cuatro metros de espesor y se caracteriza por su fauna. Paleontológicamente, las capas de transición entre la zona 30, la de *Parkinsonia parkinsoni* y la 29, la de *Garantiana garantiana,* están caracterizadas por la presencia simultánea de *Parkinsonia y Garantiana.* La zona 29, en esta localidad, no produjo sino un solo ejemplar de la especie índice *Garantiana garantiana* y está caracterizada por perisfínctidos. Las capas de transición 28-29 tienen la característica de ser las únicas que contienen *Pseudogarantiana.* En la zona 28, es común la especie de zona, la *Strenoceras subfurcatum;* en esta sección, el género *Strenoceras* está limitado a esta zona.

En Bielefeld, las subdivisiones paleontólogicas van más allá de las zonas tipo de dos maneras. (a) Están presentes dos unidades extra, bien marcadas por la paleontología y estas unidades contienen faunas que son transicionales de una zona tipo a la siguiente. Tales unidades transicionales son raras en el Jurásico del noroeste de Europa. (b) La Zona de Subfurcatum se divide en dos subzonas. Las subzonas son más numerosas en algunas otras partes del Jurásico del noroeste de Europa. Las 20 zonas del Jurásico Inferior (Lías) incluyen 50 subzonas, muchas de las cuales han sido reconocidas en muchas partes de la provincia (Dean y otros, 1961).

Kosmoceras en el Caloviano de Peterborough. Para los detalles que conciernen a las especies y especímenes regresemos a aquella parte del Caloviano, que aquí se considera como la parte más alta del piso del Jurásico Medio siguiendo el método de Arkell (1956) y el de los geólogos alemanes. Algunos de los amonitas del Caloviano más comunes exhiben transiciones casi continuas de una especie a otra y algunas de las especies vagamente delimitadas son utilizadas como guías y aun como fósiles índice. Con la ayuda de estos guías, se han demostrado excepcionalmente los parangones homotaxiales satisfactorios, excepcionalmente en forma notoria entre las secciones en la Oxford (Clunch) Clay en Peterborough y la Kidlington, Inglaterra.

La sección de Peterborough fue examinada por Roland Brinkmann de Alemania (1929) en un estudio estadístico que implicó 3 035 especímenes los cuales asignó al género *Kosmoceras.* Brinkmann encontró a otros amonitas a los que identificó, así como numerosos

TABLA 1. TABLA DE CORRELACION PARA EL JURASICO INFERIOR Y MEDIO MARINOS, MOSTRANDO ZONAS Y PISOS EN 13 COLUMNAS SELECCIONADAS†

Piso		Zona	1 Inglaterra	2 Francia Oriental	3 Alemania Surooccidental	4 Alemania Noroccidental	5 Mts. Jura	6 Cáucaso	7 Arabia	8 Cutch, India	9 Groenlandia Oriental	10 Canadá Occidental	11 Wyoming	12 Oriente de México	13 Andes	
Jurásico Medio	S	41. *Quenstedtoceras lamberti*	z	z	z	z	z	sp		z			z			41
		40. *Peltoceras athleta*	z	z	z	z	z			z				z		40
Caloviano	M	39. *Erymnoceras coronatum*	z	z	z	z			z	?						39
		38. *Kosmoceras jason*	z		z	z	sp	sp		z		sp	+		P	38
	I	37. *Sigaloceras calloviense*	z	z	?	z	z			?	z		+	x		37
		36. *Macrocephalites macrocephalus*	z	z	z	z	z	z		z	z	sp	+			36
	S	35. *Clydoniceras discus*	z	z		z	z		sp?	sp	1					35
		34. *Oppelia aspidoides*	z	?	?	?	z				1					34
Bathoniano	M	33. *Tulites subcontractus*	z	z	z		z	P	sp		1					33
		32. *Gracilisphinctes progracilis*	z				?				1					32
	I	31. *Zigzagiceras zigzag*	z	z	z	z	z		?		1	?	?	z		31
	S	30. *Parkinsonia parkinsoni*	z	z	z	z	z	z								30
		29. *Garantiana garantiana*	z	z	z	z	z		sp		sp?					29
		28. *Strenoceras subfurcatum*	z	z	z	z	z	z								28
	M	27. *Stephanoceras humphriesianum*	z	z	z	z	z	z				z			z	27
Bajociano		26. *Otoites sauzei*	z	z	z	z	z	z	sp			z	sp	P	?	26
		25. *Sonninia sowerbyi*	z	z	z	z	z	?				z			z	25
	I	24. *Graphoceras concavum*	z	z	z	z	z	?								24
		23. *Ludwigia murchisonae*	z	z	z	z	z	z								23
		22. *Tmetoceras scissum*	z		z	z	z					z			z	22
		21. *Leioceras opalinum*	z	z	z	z	z	z								21
Jurásico inferior (Lías)		20. *Dumortieria levesquei*	z	z	z	z	?									20
	S	19. *Grammoceras thouarsense*	z	z	z	?	z		sp?		sp	sp			sp	19
Toarciano		18. *Haugia variabilis*	z	z	z	z	*	P								18
		17. *Hildoceras bifrons*	z	z	z	z	*				z					17
	I	16. *Harpoceras falcifer*	z	z	z	z	*		sp			sp			sp	16
		15. *Dactylioceras tenuicostatum*	z	z	z	z	z									15
	S	14. *Pleuroceras spinatum*	z	z	z	z	z									14
		13. *Amaltheus margaritatus*	z	z	z	z	z								sp	13
Pliensbachiano		12. *Prodactylioceras davoei*	z	z	z	z	?	P			z	P			z	12
	I	11. *Tragophylloceras ibex*	z	z	z	z	z								z	11
		10. *Uptonia jamesoni*	z	z	z	z	z				z			z	z	10
	S	9. *Echioceras raricostatum*	z	z	z	z	z							z		9
		8. *Oxynoticeras oxynotum*	z	z	z	z	z							?	sp	8
Sinemuriano		7. *Asteroceras obtusum*	z	z	z	z	?	P?				?		?		7
	I	6. *Caenisites turneri*	z	z	z	z	z								?	6
		5. *Arnioceras semicostatum*	z	z	z	z	z					z		z	?	5
		4. *Arietites bucklandi*	z	z	z	z	z					z		z	z	4
		3. *Schlotheimia angulata*	z	z	z	z	z					z			?	3
Hettangiano		2. *Alsatites liasicus*	z	z	z	z	z	P?								2
		1. *Psiloceras planorbis*	z	z	z	z	z					z			z	1

† Compilado de la Jurassic Geology of the World de W. J. Arkell, con modificaciones de Dean, Donovan y Howarth (1961), J. H. Callomon (1955, 1961) y H. K. Erben (1956). S = Superior. M = Medio. I = Inferior. P. = Piso presente. z = zona presente. x = fauna entre el Caloviano Inferior y Medio. ? = zona quizá presente. 1 = 6 zonas locales del Bathoniano. + = 5 zonas locales. sp = subpiso presente. sp? = subpiso quizá presente. * = quizá todas las zonas; condensadas.

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M.G.

TABLA 2. DISTRIBUCION DE AMONITAS EN BETHEL BRICK QUARRY,

Zona	29-30 transición	29 (*G. garantiana*), 13 metros							
Número de la capa	1	2	3–4	7	8	15	16–17	19	21
Parkinsonia acris and *P. raricostata*	6								
Garantiana (*Subgarantiana*) *depressa*	2								
Garantiana (*Subgarantiana*) *tetragona*	1	6	4	3	6	1			
Garantiana (*Subgarantiana*) *suevica*			1[a]	1					
Garantiana (*Subgarantiana*) *alticosta*					1				
Garantiana (*Subgarantiana*) *subgaranti*									
Garantiana (*Subgarantiana*) *wetzeli*									
Garantiana (*Subgarantiana*) *trauthi*									
Garantiana (*Subgarantiana*) *pompeckji*									
Garantiana (*Subgarantiana*) *coronata*									
Garantiana (*Subgarantiana*) *cyclogaster*									
Garantiana (*Subgarantiana*) *subangulata*									
Garantiana (*Garantiana*) *garantiana*									1
Garantiana (*Garantiana*) *dubia*									
Garantiana (*Garantiana*) *baculata*									
Garantiana (*Garantiana*) *althoffi*									
Garantiana (*Garantiana*) *filicosta*									
Garantiana (*Pseudogarantiana*) *minima*									
Garantiana (*Pseudogarantiana*) *dichotoma*									
Perisfínctidos	1		1				1	1	1
Bigotites sp. indet.								2	
Garantiana (*Orthogarantiana*) *inflata*									
Garantiana (*Orthogarantiana*) *schroederi*									
Garantiana (*Orthogarantiana*) *densicostata*									
Strenoceras subfurcatum									
Strenoceras bajocensis									
Strenoceras latidorsatum									
Strenoceras robustum									
Strenoceras rotundum									

pelecípodos, belemnites y otros invertebrados que colectó. Mencionó el excelente espécimen de pez encontrado en las canteras por otros, así como los esqueletos de grandes plesiosaurios que son exhibidos en el Museo Británico.

La Oxford Clay cerca de Peterborough tiene un tendido plano y de unos 30 metros de espesor. Es casi de color gris oscuro, bituminosa y pobremente laminada. Los 1 300 cm de arcilla de la parte inferior de la formación, la cual fue estudiada estadísticamente

BIELEFELD, NOROESTE DE ALEMANIA. SEGUN A. BENTZ, 1928

28-29 transición, 12 metros														28 (*S. subfurcatum*), 4 metros	
22	23	24	25	26	27	27A*	28	29–32	34	35	36	41	42	Superior	Inferior
	1					1									
1															
			1		4	2						1			
	2[a]	1				6		4							
						3									
						2	1								
						1									
	1				1[a]				1						
				1											
										1					
												1			
					1	1					1				
	1					4					1				
														4	4
														3	1
														2	
	1														
	1				2	8									
													2	2	
														15	
														5	
															11
														2?	4
															1
															2
														2	

* Especímenes de nódulos, no todos de un horizonte.
[a]cf.

por Brinkmann (compárese Tabla 3), está expuesta en las partes inferiores de las paredes de tres canteras de la London Brick Company. Una de las canteras está situada a 3.2 kilómetros al sur de Peterborough; las otras dos están casi juntas y como a 5 y 6.4 kilómetros al sureste de la ciudad. La arcilla contiene numerosas capas blancas que se llaman yesos, que tienen generalmente unos cuantos milímetros de espesor, raras veces centímetros, las cuales separan en bandas a la roca de color oscuro. Los yesos están formados por

TABLA 3. DIAMETROS FINALES DE ZUGOKOSMOKERAS (Y GULIELMITES) DE LAS CANTERAS CERCANAS A PETERBOROUGH, INGLATERRA†

Grupo de estratos	Número de especímenes	Media y su desviación tipo, en mm	Para las diferencias: Número	Desviación tipo	t
7–20	12	61.6 ± 1.5			
			1	2.12	10.00
21–25	12	82.8 ± 1.5			
			2	2.42	0.91
26–28	23	85.0 ± 1.9			
			3	2.10	3.24
29–39	32	78.2 ± 0.9			
			4	1.66	4.04
40–45	16	84.9 ± 1.4			
			5	3.67	0.98
46–50	9	88.5 ± 3.4			
			6	5.03	3.44
56–78	19	105.8 ± 3.7			
			7	4.84	0.72
79–90	8	109.3 ± 3.1			
			8	3.80	1.42
91–120	15	114.7 ± 2.2			
			9	3.72	1.16
121–135	9	119.0 ± 3.0			
			10	3.72	6.29
136–160	9	95.6 ± 2.2			
			11	3.25	0.22
161–200	11	96.3 ± 2.4			
			12	3.76	0.40
201–240	5	94.8 ± 2.9			
			13	3.58	0.31
241–260	12	93.7 ± 2.1			
			14	3.83	0.52
261–300	7	95.7 ± 3.2			
			15	5.12	2.05
301–320	5	85.2 ± 4.0			
			16	4.47	1.30
321–340	14	91.0 ± 2.0			
			17	4.20	1.64
341–360	7	97.9 ± 3.7			
			18	4.25	0.99
361–380	7	93.7 ± 2.1			
			19	3.50	2.37
381–440	6	102.0 ± 2.8			
			20	4.18	0.53
441–460	12	99.8 ± 3.1			
			21	5.46	2.45
461–500	6	113.2 ± 4.5			
			22	5.76	0.40
501–520	19	110.9 ± 3.6			
			23	4.11	2.21
521–530	20	101.8 ± 2.0			
			24	3.20	1.34
531–539	13	106.1 ± 2.5			
			25	3.14	2.13
540	38	112.8 ± 1.9			
			26	3.14	0.03
541–559	10	112.7 ± 2.5			
			27	2.92	5.24
560	27	128.0 ± 1.5			
			28	3.80	0.34
561–680	15	126.7 ± 3.5			
			29	4.14	0.89
681–690	13	130.4 ± 2.2			
			30	4.91	2.59
691–759	13	117.7 ± 4.4			
			31	5.50	2.47
760–780	16	131.3 ± 3.3			
			32	5.58	2.29
781–792	8	144.1 ± 4.5			
			33	4.93	0.51
793	31	146.6 ± 2.0			
			34	10.05	1.73
794–854	6	129.2 ± 10.3			
			35	10.05	0.01
855	23	129.1 ± 2.0			
			36	3.69	1.17
856–864	21	124.8 ± 3.1			
			37	3.98	0.58
865	33	127.1 ± 2.5			
			38	9.53	1.45
866–880	7	140.9 ± 9.2			
			39	11.19	0.76
881–894	7	132.4 ± 6.4			
			40	7.39	2.07
895	9	117.1 ± 3.7			
			41	4.76	1.43
896–920	15	123.9 ± 3.0			
			42	3.84	2.79
961–980	11	113.2 ± 2.4			
			43	3.61	1.16
981–990	12	109.0 ± 2.7			
			44	3.48	1.72
1080–1093	22	115.0 ± 2.2			
			45	4.56	1.47
1094–1120	14	121.7 ± 4.0			
			46	4.94	0.18
1121–1135	21	120.8 ± 2.9			
			47	4.32	0.60
1270–1310	23	123.4 ± 3.2			

* Sin un yeso; sin datos; amonitas no clasificadas debido a la carencia de tiempo.

† Las 3 primeras columnas de Brinkmann, 1929, Pág. 103. Yesos (y grupos de estratos cuyos fósiles no fueron estudiados) mostrados con líneas horizontales. Desviación tipo. Para t véase el texto.

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M.G.

conchas comprimidas de amonitas y en su mayor parte están separados en fragmentos. La correlación litológica local, desde una cantera de arcilla hasta otra o entre canteras, es posible gracias a los yesos y a tres capas de referencia mucho más gruesas: (1) una capa concrecionaria de 56-78 cm arriba del horizonte cero de Brinkmann (quizás esté situada a 176-198 cm arriba de la Kellaways Rock que subyace a la arcilla), (2) una arcilla con estratificación gruesa, muy oscura situada a 560-680 cm arriba del nivel cero y (3) una arcilla verde situada a 1 130-1 160 cm. El espesor de estos yesos y otras capas de referencia y los intervalos entre ellos son uniformes en todas partes de las canteras de Peterborough.

Brinkmann reconoció 14 especies de *Kosmoceras* en Peterborough en los 1 300 cm de arcilla a los que se circunscribieron los estudios estadísticos (Fig. 1). Concluyó que cada una de las cuatro columnas de especies de dicha figura representa un linaje evolutivo que debe ser reconocido como un subgénero de *Kosmoceras*. Cada subgénero es designado por uno de los muchos nombres previamente acuñados por S. S. Buckman: *Zugokosmokeras* (columna 1), *Kosmoceras* sp. (columna 2), *Gulielmiceras* (*Anakosmokeras*) (columna 3) y *Spinikosmokeras* (columna 4). Otros investigadores, principalmente Callomon (1955), separan la parte de la primera columna abajo del horizonte de 135.5 cm (*K. jason* y más abajo) como el subgénero *Gulielmites* (otro de los nombres de Buckman).

Las conchas de las dos últimas columnas son similares a las de las dos primeras, horizonte por horizonte, excepto para las de tamaño más pequeño y por la posesión de apófisis yugales llamados *lóbulos* situados a uno y otro lado de la abertura (el lóbulo de la parte posterior de un par está oculto por el frente y lateralmente). Casi en cada horizonte una forma delineada en la columna 3 se corresponde con otra similar esculpida de la columna 1, la que tiene un tamaño doble y carece de apófisis. La misma relación se mantiene, aunque con menos claridad entre las columnas 2 y 4. Brinkmann (1929, Págs. 212-213) concluyó que el dimorfismo *no* es sexual y que los linajes sin apófisis fueron derivados de *Sigaloceras* (Tabla 4) un poco antes del comienzo del depósito de la Oxford Clay. J. H. Callomon (carta, febrero 10, 1963) duda ahora de la claridad de los cuatro linajes y considera a la sucesión de *Kosmoceras* en Peterborough como un solo linaje con dimorfismo sexual. Las colecciones de Brinkmann realmente no fueron lo suficientemente grandes para demostrar las distribuciones bimodales.

Cualquiera que sea el número de linajes, son útiles las estadísticas de Brinkmann, debido en parte al predominio numérico de *Zugokosmokeras* (columna 1 de la Fig. 1), con 1802 especímenes,

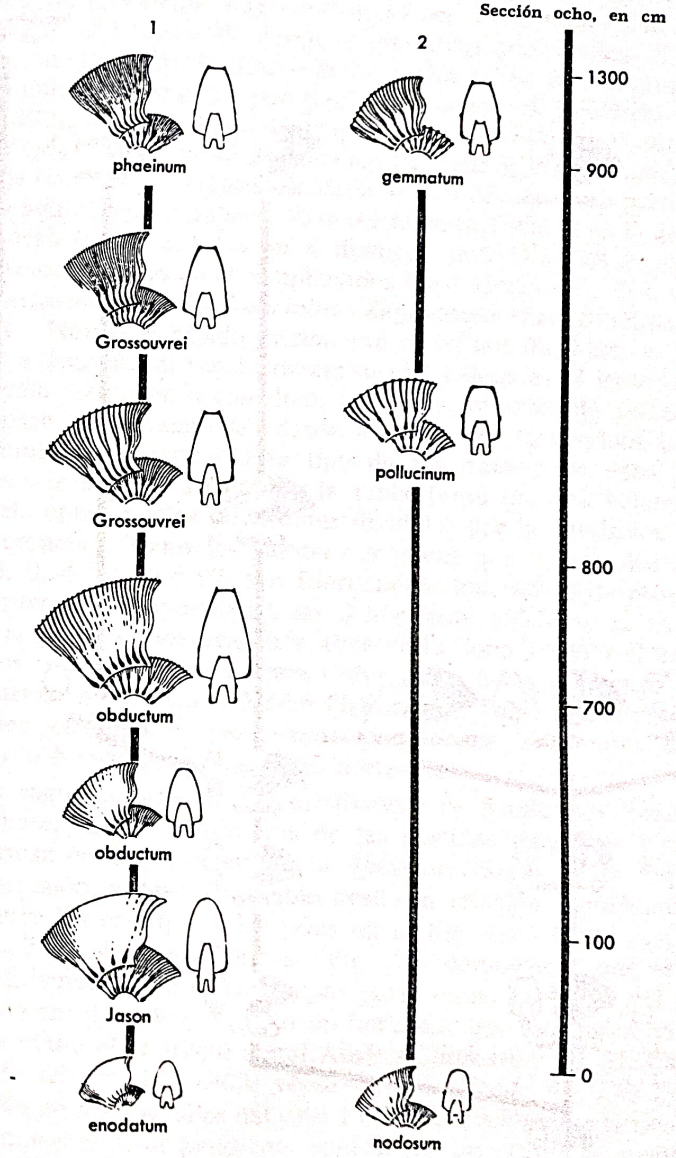


FIG. 1. Linajes y subgéneros de *Kosmoceras* en Peterborough, modificado ligeramente de Brinkmann (1929, Tafel V). 1, *Zugokosmokeras* y (*Jason* y más abajo) *Gulielmites;* 2, *Kosmoceras* sp. Tamaños muy reducidos

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M G.

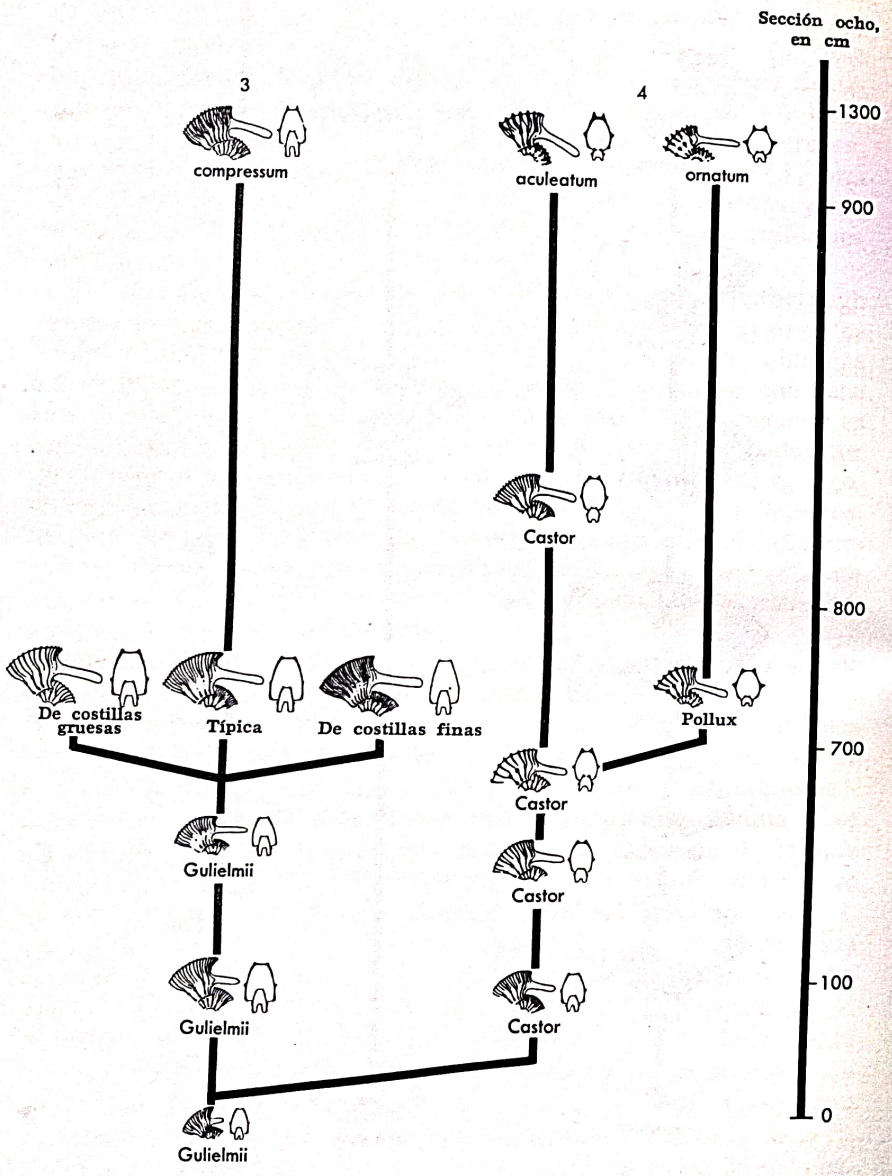


FIG. 1 (*Cont.*). 3, *Gulielmiceras;* 4, *Spinikosmokeras*. Tamaños muy reducidos

703 completos, sobre *Kosmoceras* sp. (columna 2), con 67 especímenes, 50 completos. Las estadísticas son consistentes con una explicación en función de cambios evolutivos persistentes, si hay lagunas en el registro fósil en algunos de los yesos. Brinkmann agrupó mediciones y relaciones por linajes y horizontes, habiendo dividido los 1 300 cm de arcilla en 48 grupos de estratos. Las mediciones para un linaje en un grupo de estratos tendió hacia la distribución normal. Dos de muchas de las series de datos se han seleccionado para presentarlas aquí. La primera serie se muestra en la Tabla 3, en la que se representan las variaciones en el diámetro entre los 703 especímenes completos, muchos de ellos aplanados hasta discos delgados, que fueron destinados al linaje *Gulielmites-Zugokosmokeras* (columna 1 de la Fig. 1). Nótese el rápido incremento en el tamaño hasta el yeso situado a 135 cm, el rápido descenso ahí y después el lento e ininterrumpido crecimiento con diámetro medio máximo de 146.6 ± 2.0 mm para 31 especímenes desde los 793 cm (individuos con casi 170 mm). Las desviaciones tipo de las diferencias entre medias adyacentes se han añadido a la tabla junto con los valores-*t* (diferencia entre medias adyacentes divididas por la desviación tipo de la diferencia). Todos los valores-*t* mayores que 3, para las diferencias 1, 3, 4, 6, 10 y 27, son fuertemente indicativas de poblaciones diferentes. La diferencia 10, en el horizonte 135.5 cm se encuentra entre el grupo de estratos más altos de la Zona Jason y el grupo de estratos más bajos de la Zona Coronatum. Estas dos zonas son las dos partes del Caloviano Medio (compárese Tabla 4). Muchas otras medidas estadísticas pertinentes para todos los linajes también muestran interrupciones en este horizonte.

La segunda serie de las estadísticas de Brinkmann pertenece a la relación entre los números de las costillas exteriores y las púas periféricas en la sucesión de la *Spinikosmokeras* de la Fig. 2. En esta sucesión, nótese el cambio desde la relación aproximadamente 1/1 entre las costillas y las púas en la Fig. 2(c) hasta casi 2/1 en la Fig. 2(d). Las estadísticas (Fig. 3a) demuestran que este cambio está concentrado en su mayor parte entre los 1 093 y 1 094 cm (1 093.5 cm de la Fig. 3a), en un horizonte que está próximo a constituirse como el contacto zonal Athleta-Coronatum (J. H. Callomon, carta de febrero 10, 1963; véase también Tabla 4). Las líneas de regresión en los dos lados del yeso 1 093.5 cm realmente tienen la misma pendiente. Esta pendiente representa un ritmo de cambio que Brinkmann intentó utilizar para estimar la longitud relativa del tiempo representado por la laguna. Suponiendo (1) que la relación costilla-púa cambió en un ritmo uniforme, (2) que la arcilla fue acumulada entre los yesos a un ritmo uniforme y (3) que cada

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M G.

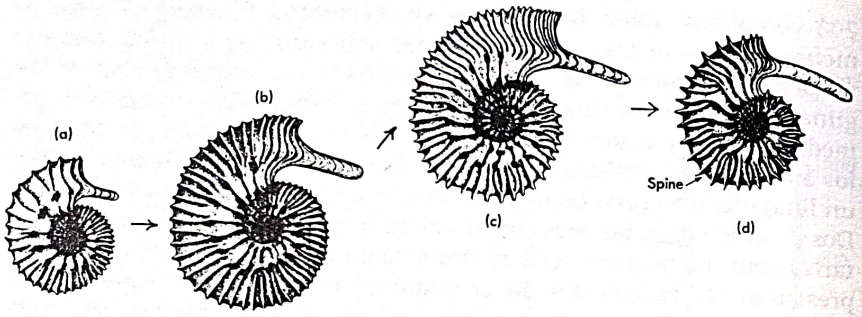


FIG. 2. Una sucesión de *Spinikosmokeras* en Peterborough, según Brinkmann (1929, Tafel III). (a) *K.* (*S.*) *castor anterior*, desde los 312 cm; (b) *K.* (*S.*) *castor castor*, desde los 670 cm; (c) *K.* (*S.*) *aculeatum anterior*, desde los 988 cm; (d) *K.* (*S.*) *aculeatum aculeatum*, desde los 1 277 cm. Aprox. × ½ tamaño natural

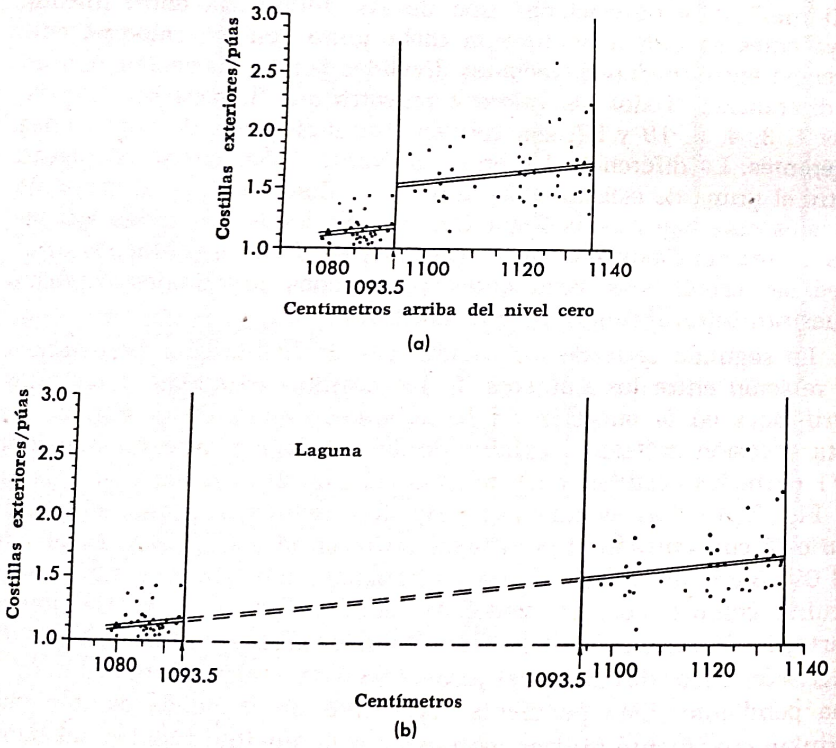


FIG. 3. Laguna en Peterborough, mostrada por las líneas estadísticas y de regresión por la *Spinikosmokeras*. Según Brinkmann (1929, Abb. 20). (a) Gráfica por grupo de estratos; (b) gráfica extendida para mostrar la laguna

yeso representa un tiempo de no depósito de arcilla, estamos capacitados para trazar un segundo diagrama con un vacío a 1 093.5 cm, lo suficientemente amplio para producir una línea de regresión recta de la relación costilla-púa (Fig. 3b), en la que las nuevas abscisas se convierten en medidas de tiempo y de las cuales podrían determinarse las longitudes relativas de los dos periodos de depósito de arcilla y la laguna intermedia. El resultado depende de las pendientes de las dos líneas de regresiones parciales de la (Fig. 3a), que no son muy precisas debido a lo esparcido de las relaciones costilla-púa. A pesar de esto y otras incertidumbres, los datos de Brinkmann muestran con suficiente claridad que algunos yesos, tanto interzonales como intrazonales, son horizontes de cambios grandes excepcionalmente en las propiedades estadísticas de los amonitas y entonces podemos representar periodos largos relativamente de no depósito de arcilla, durante el cual los amonitas cambiaron de acuerdo a sus ritmos acostumbrados.

En Peterborough no hay señales de erosión, sino solamente de depósito y no depósito. Los yesos forman láminas ininterrumpidas, aun cuando precisamente debajo de ellos la arcilla fue retrabajada por animales perforantes antes del depósito del yeso.

Correlaciones en la Oxford Clay (*Caloviano*) *entre Peterborough y Kidlington.* Los cambios cualitativos y cuantitativos de los grupos de estratos inferiores en Peterborough siguen un estrecho paralelismo en Kidlington, cerca de Oxford, 112 kilómetros al suroeste de Peterborough. La porción 0-135 cm de la Oxford Clay en Peterborough es la Zona Jason, la parte más inferior del Caloviano Medio. Puede ser correlacionada con los 450-500 cm de la Oxford Clay que en 1948-51 estaba temporalmente expuesta en Kidlington. En aquel lugar, Callomon (1955) colectó 165 especímenes medibles de los *Gulielmites* y *Gulielmiceras* subgéneros de *Kosmoceras*. Brinkmann colectó 1086 especímenes de *Kosmoceras* (349 medibles) de los 0-135 cm de la arcilla en Peterborough y de todos únicamente siete fueron asignados a los mismos dos subgéneros. Los diámetros de *Kosmoceras* (*Gulielmites y Gulielmiceras*) de Peterborough y Kidlington son similares en los horizontes correspondientes.

La correlación Peterborough-Kidlington más exacta es para la interrupción faunal que ocurre en el yeso 51.5 cm en las canteras de Peterborough, y probablemente en el yeso 173 cm arriba del nivel cero en Kidlington aunque la arcilla que está precisamente debajo del yeso Kidlington carece de amonitas. Los tamaños de las conchas para *Gulielmites y Gulielmiceras* son notablemente más grandes arriba de este horizonte. Otros cambios característicos también lo

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M.G.

son especialmente para *Gulielmites*, de tal manera que Callomon describió las especies nuevas *Kosmoceras* (*Gulielmites*) *medea* (*endodatum*, Fig. 1) para incluir las conchas de *Gulielmites* abajo de este horizonte (contacto de las subzonas Jason/Medea, Tabla 4). Hay ocho yesos en la Zona Jason en Peterborough y seis en Kidlington. Aunque los yesos en las canteras de Peterborough se extienden por kilómetros, la correlación del yeso Jason/Medea es la única que puede hacerse con cierta seguridad entre Peterborough y Kidlington. Los yesos marcan tiempos cuando la arcilla todavía no se depositaba aunque las conchas de amonitas se fueron acumulando y el área debe

TABLA 4. ZONAS Y SUBZONAS DEL CALOVIANO EN BRETAÑA, SEGUN CALLOMON (1955)

	Zona	Subzona
Caloviano Superior	*Quenstedtoceras lamberti*	
	Peltoceras athleta	
Caloviano Medio	*Erymnoceras coronatum*	*Kosmoceras* (*Zugokosmokeras*) *grossouvrei* *Kosmoceras* (*Zugokosmokeras*) *obductum*
	Kosmoceras (*Gulielmites*) *jason*	*Kosmoceras* (*Gulielmites*) *jason* *Kosmoceras* (*Gulielmites*) *medea*
Caloviano Inferior	*Sigaloceras calloviense*	*Sigaloceras planicerclum* *Sigaloceras calloviense* *Proplanulites koenigi*
	Macrocephalites (*Macrocephalites*) *macrocephalus*	*Macrocephalites* (*Kamptokephalites*) *kamptus* *Macrocephalites* (*Macrocephalites*) *macrocephalus*

haber estado cubierta por agua marina clara. El fracaso de muchas correlaciones por yeso entre Peterborough y Kidlington puede indicar que la mayoría de los yesos fue relativamente local; quizás fueron formados sobre el lado de un gran delta el cual por algún tiempo no estuvo recibiendo aguas lodosas.

En la faja Oxford-Peterborough de la Kellaways Rock y de la Oxford Clay, las zonas Athleta y Lamberti del Caloviano Superior no están subdivididas, pero cada zona del Caloviano Inferior y Medio está dividida en dos o más subzonas (Tabla 4). Las subzonas han sido reconocidas en algunas, aunque no en todas las secciones británicas del Caloviano. La zona *Erymnoceras coronatum*, es decir,

la parte superior del Caloviano Medio, tiene como especies índice al amonita de costillas gruesas de 40.6 a 50.8 cm de diámetro que es muy común en Bretaña; la zona también puede ser identificada por los guías de los *Kosmoceras* para las dos subzonas. En Peterborough, la Zona Coronatum se subdivide en la Subzona Obductum, desde los 135.5 hasta alrededor de 854 cm y la Subzona Grossouvrei, desde alrededor de 854 cm hasta 1 093.5 cm. Los guías de los *Kosmoceras* para las subzonas se han encontrado en Christian Malford en la faja Oxford Clay situada a 56 kilómetros al suroeste de Oxford, y la *K. grossouvrei* (Tabla 4), al menos, está presente en Weymouth en la costa sur (Arkell, 1947, Pág. 29). La Zona Jason en Peterborough está dividida en la Subzona Medea, entre los 0-51.5 cm, y la Subzona Jason, entre los 51.5-135.5 cm.

Brinkmann y Callomon ponen de relieve los diferentes aspectos de la prueba del *Kosmoceras*. Brinkmann mencionó especies y zonas, pero para él el linaje *Gulielmites-Zugokosmokeras* fue una unidad en la cual las variaciones en tamaño, en forma y en delineado fueron tratados estadísticamente. Las interrupciones estadísticas en los yesos se interpretaron como pruebas de la existencia de lagunas en el registro de una población que evolucionaba continuamente o sucesión de poblaciones. Callomon dio las estadísticas pero las utilizó para definir especies, zonas y subzonas. Las correlaciones de Callomon entre Peterborough y Kidlington fueron correlaciones de las subzonas Medea y Jason, en el curso de las cuales se demostró que las conchas de *Kosmoceras* resultaron a través de cambios similares en el tamaño adulto en las dos localidades.

Caloviano en Alemania, Francia y Suiza. El Caloviano está bien representado en la Provincia Europea del Noroeste. En las Alb Suaviana y Franconiana del suroeste de Alemania están presentes probablemente las seis zonas, aunque la Zona Caloviense (No. 37 en la Tabla 1) está pobremente representada y probablemente incompleta. El Caloviano Inferior y Medio tiene en la base al delgado "Macrocephalenband", pero principalmente consta de la arcilla que se llama *Ornatenton*, de 10 metros de espesor y muy rica en fósiles con abundantes *Kosmoceras*. La sucesión de las especies de *Kosmoceras* se encuentra confusa y aún no explicada (Arkell, 1956, Pág. 118). El Caloviano Superior, totalmente expuesto en la construcción del "Autobahn" en 1937 (R. y E. Model, 1938), es una arcilla de tres metros atestada de amonitas, muchos de los cuales están piritizados o fosfatizados. Los especímenes grandes de la nudosa *Peltoceras athleta* se presentan cerca de la base y en niveles más altos se encuentran las *Quenstedtoceras lamberti*, aerodinámicas y de quilla pronunciada. Una superyacente arcilla nodular de medio me-

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES

tro contiene especímenes fosfatizados o piritizados más o menos triturados tanto de *Q. lamberti* como de los índices del Oxfordiano Inferior (la parte más baja del Jurásico Superior) y que forman una de las zonas "condensadas" que son comunes en el Jurásico continental y que pueden resultar de la erosión y redepositación, al menos de algunas partes de los amonitas.

En la altiplanicie del Jura, incluyendo la región situada al oriente de Francia en los alrededores de Besançon y al norte de Belfort de las Montañas Jura y extendiéndose también hasta Suiza, más allá de Basel, hasta las minas de hierro de Herznach, se encuentran las seis zonas del Caloviano (Theobald, 1957) aunque el conjunto no es conocido en toda el área. Las mejores faunas se encuentran en los 3.20 m de depósitos de mineral de hierro y estratos asociados en la mina de hierro de Herznach (Callomon, 1955, Pág. 250). Aquí se encuentra el Caloviano Inferior pero la Zona Jason de kosmocéridos está ausente y los siguientes horizontes fosilíferos son las zonas bien marcadas de Coronatum y Athleta. Las faunas sucesivas contrastan notablemente en vez de que incluyan kosmocéridos íntimamente afines como en Peterborough. En Besançon, una sucesión recientemente expuesta de Coronatum-Athleta-Lamberti (Rangheard y Theobald, 1961) incluye una Zona Coronatum con *Erymnoceras coronatum* y abundantes especies de *Hecticoceras* del Caloviano Medio, pero no *Kosmoceras*.

En general, la distribución de *Kosmoceras* en el continente europeo es muy irregular, pero las zonas del Caloviano se pueden correlacionar con las de Inglaterra empleando los kosmocéridos y otros amonitas índices. Las lagunas del Caloviano también están presentes en el continente así como en Inglaterra y algunas de éstas, en varios niveles, coinciden con ligeras discordancias erosionales y concentraciones de amonitas rotos, piritizados o fosfatizados.

En los horizontes inferiores en el Bajociano, ocurren una o dos ligeras discordancias angulares, en Inglaterra y en Normandía. En Wiltshire, S. S. Buckman (1901) demostró la presencia de un traslape extenso y una discordancia de 1.30 metros por kilómetro.

Zonas europeas del Jurásico Inferior y Medio. Las zonas del Jurásico Inferior y Medio de la Provincia Europea del Noroeste son todas del mismo tipo general como las descritas para el Caloviano. Las 41 zonas están presentes en Inglaterra (columna 1, Tabla 1). Casi todas están presentes en Francia principalmente en el lado oriental de la Cuenca de París en la altiplanicie del Jura (columna 2 de la Tabla 1) y en las cuestas de la Suaviana y la Franconia del suroeste de Alemania (columna 3). Probablemente, casi todas las

zonas están presentes en los gruesos estratos en la porción noroeste de la cuenca alemana, entre el Mar del Norte y las montañas Harz (columna 4) y en el Jura plegado del borde franco-suizo (columna 5).

Zonas de facies. Las zonas del Jurásico Inferior y Medio del noroeste de Europa han sido consideradas por mucho tiempo como unidades cronoestratigráficas. Antes de que aceptemos esta consecuencia importante, debemos examinar todas las demás posibilidades. Bajo la suposición general de la evolución orgánica, hay otras dos posibles complicaciones: (1) la evolución local, la cual se retarda en cualquier parte como resultado de comunicaciones pobres, y (2) la migración de faunas de facies de vida relativamente larga. Consideremos primero las faunas de las facies comparándolas con las facies marinas actuales que se encuentran lejanas de las costas norte-sur con especial atención a las facies de foraminíferos de California, debido a que especies vivientes de este orden se encuentran en forma fósil en los cercanos estratos del Pleistoceno y Plioceno.

La temperatura faunal de las aguas marinas someras de hoy en día y las facies de profundidad han sido estudiadas a fondo a lo largo de costas que siguen lineamientos norte-sur, incluyendo la costa del Pacífico de América del Norte (para los moluscos véase, Burch, 1945-46; Keen, 1958). En la costa del Pacífico, ocurren interrupciones entre las provincias de moluscos bien definidas en la punta de la península de Baja California, en Punta Concepción, California y en cualquier otra parte.

Pueden establecerse las diferencias locales y regionales de las faunas de moluscos y de foraminíferos del Pleistoceno y Plioceno haciendo comparaciones con las especies vivientes. Evidentemente una clase de sucesión de facies en las rocas es el resultado de cambios de temperatura. En muchos lugares, a lo largo de las costas oriental y occidental de América del Norte, pueden presentarse ejemplos de sucesiones de faunas de moluscos del Pleistoceno de aguas alternativamente cálidas y frías. Sin duda, estas faunas se movieron hacia el sur durante las épocas glaciales y hacia el norte durante las épocas interglaciales. Prácticamente todas las especies son vivientes en cualquier otra parte a lo largo de las costas actuales: las especies de agua fría viven al norte y las especies de agua tibia en el sur. Pero las mismas especies tienen la tendencia a descender hacia las aguas más profundas y más frías poco más o menos al sur de su costa hasta donde se deja sentir la influencia de las aguas someras. No puede haber duda de que estas especies de moluscos, todavía vivientes actualmente, son fósiles de facies, en sus acaecimientos en el Pleistoceno, y más que especies guías para algunos lapsos particulares de la misma época, pero puede haber alguna in-

certidumbre en cuanto a que en cualquier latitud la sucesión de facies es debida al cambio climático o al cambio en la profundidad del agua del medio en el cual vivieron los animales del Pleistoceno (Woodring y otros, 1946). En cualquier caso, la sucesión de las facies del Pleistoceno en diferentes localidades no puede ser más que homotaxial por lo que no es posible utilizarla como prueba del sincronismo.

En otras sucesiones de facies, los cambios de la profundidad parecen ser el factor variable. Al sur de California se encuentran ejemplos en dos pequeñas cuencas de dimensiones cada una de 40 por 96 kilómetros donde los sedimentos y las faunas se han estudiado en relación con la explotación petrolera. En las cuencas de Los Angeles y Ventura, los supuestos estratos del Pleistoceno tienen espesores de 3 000 y 4 500 metros y están formados de capas alternantes de areniscas y lutitas con conglomerados marginales subordinados. En ambas cuencas, localmente los foraminíferos son excelentes fósiles guía, las zonas se presentan en el mismo orden, son de espesores comparables y conforme a las estructuras los pliegues y las fallas son determinados notablemente por las capas de areniscas que son las rocas que forman los receptáculos en los numerosos campos petroleros. Pero las mismas asociaciones de foraminíferos que se encuentran en los estratos de la cuenca también se presentan como formas vivientes en el piso del cercano Océano Pacífico con variaciones hacia aguas profundas bien marcadas, como también se hallan en las rocas siguiendo el mismo orden, de la costa hacia el mar. La fauna de foraminíferos más somera de las secuencias atravesadas por los pozos petroleros también puede observarse en el piso marino de las aguas someras y las zonas de los campos petroleros siguen, por regla, el descenso de la pendiente del piso marino hasta que las asociaciones de foraminíferos de los pozos más profundos son encontradas en forma viviente en la pendiente continental del actual océano a profundidades mayores de 1 800 metros (Natland, 1933, 1957; Bandy 1953). Casi todas las especies de foraminíferos encontradas en los pozos o en afloramientos del Plioceno también son formas vivientes de la zona nerítica actual y las muy escasas extintas están casi todas en la zona más baja en las rocas. Todas las zonas en las rocas, incluyendo las más inferiores, deben ser principalmente *zonas profundas*, diferenciadas por la facies faunal de una profundidad particular, a saber, la profundidad del agua en el momento del depósito de los estratos implicados. Evidentemente los estratos más inferiores, los que contienen varias de las especies de foraminíferos extintas, fueron depositados en aguas de más de 1 800 metros de profundidad y todos los estratos más altos fueron depositados en aguas cada vez más someras a medida que la cuenca se

llenaba más de sedimentos. Las cuencas marinas de aguas profundas parece que estuvieron limitadas por laderas muy pendientes y de bordes marginales muy angostos. Estas orillas han estado sujetas a la deformación y a la erosión por lo que es difícil rastrear los horizontes, no obstante, en el lado oriente de la cuenca de Los Angeles probablemente están bien conservadas las transiciones laterales desde las facies de aguas profundas hasta las facies de aguas someras.

En las dos cuencas del sur de California, la homotaxis de las zonas de foraminíferos no implica necesariamente sincronismo. No sabemos dónde una zona de cualquier facies en particular fue depositada al mismo tiempo en ambas cuencas, aunque especies extintas idénticas en la zona más inferior de las rocas del Plioceno han sido consideradas lo suficiente para justificar la correlación cronológica para esta zona.

Se ha demostrado la debilidad de los foraminíferos de la zona profunda como guías de la edad relativa por comparación con las faunas en el Neógeno del Great Valley de California situado entre 320 y 480 kilómetros al norte. Los estratos del Plioceno de este Valle contienen asociaciones de foraminíferos de aguas someras, todos adjudicables a especies vivientes y que están subyacidos por estratos del Mioceno. Están ausentes las facies de foraminíferos más profundas. Es imposible, por el solo empleo de los foraminíferos, que se haya producido un paralelismo entre las subdivisiones de los estratos del Plioceno del Gran Valle y entre las zonas que constituyen las cuencas del sur de California.

Los fósiles de facies son más difíciles de reconocer en las rocas más antiguas. El estratígrafo lo siente a su manera cuando se remonta al pasado geológico. Las facies que simplemente indican diferencias en profundidad pueden ser evitadas, generalmente, cuando se consideran formas cuyas estructuras (o relaciones a formas vivientes de conducta conocida) sugieren el modo de vida, natatorio o flotante. El hecho consumado de la amplia distribución geográfica, esencial para un fósil guía, es sugestivo de una inverosímil movilidad en organismos restringidos estrechamente en su hábitat.

Al evaluar un tipo de guía extinto tal como los amonitas, uno debe tener confianza, en parte, en las litofacies y en las biofacies no amoníticas. Los amonitas son especialmente abundantes en las arcillas. En el Caloviano Británico son comunes en la Oxford y en otras arcillas pero no se encuentran en la arenisca interestratificada de la Kellaways Rock. Los Amonitas de la Oxford Clay están asociados con numerosos pelecípodos, incluyendo ostras, las que son a menudo formas de aguas someras. En general, los amonitas se han encontrado asociados con todas las biofacies marinas, excepto con

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M G.

los corales de arrecife. No se han encontrado en asociaciones de aguas salobres, lagunales, estuarinas o dulces.

Westermann (1954) reconoció, al menos, dos facies de amonitas alternantes (estefanoides y sonnínidos) en las arcillas arenosas calcareas del Bajociano Medio del noroeste de Alemania, a través de Alfeld, situada al oriente de Bielefeld, cerca del pilar tectónico del Harz. La facies de estefanoides se presenta tres veces y dos la de sonnínidos, pero toda la sucesión es probable dividirla satisfactoriamente entre la Zona de *Stephanoceras humphriesianum* (No. 27 en la Tabla 1) y la Zona *Otoites sauzei* (No. 26), puesto que ambos fósiles índices son miembros del grupo estefanoide.

En gran escala, hay dos facies de amonitas europeas de alcance provincial, las cuales pueden ser facies de temperatura o de profundidad. Los amonitas de toda la plataforma del noroeste de Europa, incluyendo los del Oxford Clay y también los del noroeste de Alemania, pueden representar una facies más fría o más somera que la del Tetis Mediterráneo, la morada de géneros lisos, casi esféricos, *Lytoceras* y *Phylloceras* que casi están ausentes de la plataforma.

Gayle Scott (1940) intentó establecer cinco zonas de profundidad en el Mesozoico las que nombró de A a E. La zona más profunda (E) fue la zona Tética de *Lytoceras* y *Phylloceras*. Las cuatro zonas más someras fueron ilustradas por las faunas del Cretácico de Texas, la más somera (A) sin amonitas. Los amonitas de la zona de profundidad (?) zona D son conchas esféricas lisas que se encuentran en margas y calizas margosas. En la supuesta zona de profundidad C, los amonitas son cuadrados y altamente esculpidos; ocurren en margas y arcillas así como en cretas y calizas densas. Los amonitas de quilla aguda y delgados de la zona de profundidad (?) zona B (15-20 brazas?) se encuentran en calizas y lutitas arenosas.

Los paleontólogos estratígrafos tienen una opinión fundada en contra del papel que juegan los fósiles índices, sus útiles de trabajo, en la interpretación de estas facies, por lo que no fueron aceptadas espontáneamente las sugestiones de Scott. En este caso, la advertencia parece haberse justificado puesto que los amonitas de la supuesta zona profunda D se han encontrado en la cantera de Fort Worth asociados con algas marinas y con géneros de foraminíferos que actualmente viven adheridos a las plantas en las aguas someras (Claude Albritton, comunicación personal).

Comparación de los amonitas europeos con las zonas de foraminíferos de California. Las zonas de amonitas del Jurásico del noroeste de Europa se asemejan a las zonas de facies de foraminíferos del Plioceno del sur de California, de la siguiente manera. Ambas se

han encontrado invariablemente en el mismo orden. Pero los foraminíferos del Plioceno fueron animales sedentarios del fondo con formas vivientes relativas confinadas a las zonas profundas. Los amonitas con toda probabilidad fueron animales nadadores activos similares al viviente *Nautilus*. No solamente los amonitas se movían probablemente con facilidad sino que sus conchas vacías pudieron haber sido esparcidas ampliamente por las corrientes, justamente como han sido llevadas unas pocas conchas de nautiloideos por cientos de kilómetros hasta el Japón, y más lejos hacia el noreste, lejos de los parajes frecuentados por los animales vivientes. Finalmente la homotaxis infalible de los amonitas en la gran área del Jurásico Europeo contrasta con el fracaso de la homotaxis de los foraminíferos del Plioceno entre las cuencas del sur de California y el Great Valley del centro del mismo estado.

Posible retraso faunal en el Jurásico de Europa. En el Jurásico Inferior y Medio del noroeste de Europa hay poca o ninguna evidencia para un retraso local en el cambio faunal en un horizonte específico o serie de horizontes como consecuencia de barreras temporales o por el tiempo requerido para la migración. La homotaxis completa prácticamente a través de toda la provincia, zona por zona, combinada con la prueba de Peterborough para una sucesión evolutiva, es explicable por la fácil migración de animales que evolucionaban rápidamente y con toda probabilidad no podía ocurrir de ninguna otra manera. Si esta es la explicación correcta, la homotaxis implica correlaciones cronológicas.

Antes de aceptar esta conclusión del sincronismo para cada zona a través de la provincia, debemos tratar de descubrir la implicación para los tiempos de viaje expresados en años. Puesto que el tiempo de depositación para todo el Sistema Jurásico probablemente fue del orden de los 45 millones de años (compárese con Holmes, 1960; Kulp, 1961) y el sistema se dividió en más de 60 zonas (41 para el Jurásico Inferior y Medio, 20 o más para el Superior), la zona promedio se acumuló en unos 750 000 años. Los mariscos y caracoles marinos modernos se han extendido por kilómetros o aun cientos de kilómetros de aguas someras en unas cuantas décadas (Elton, 1958). Si los amonitas se movían con la rapidez con que lo hacen ahora los mariscos y caracoles, lo cual parece probable, la extensión de una nueva fauna zonal europea debe haber sido geológicamente instantánea. La conclusión siguiente es la de que las zonas del Jurásico Inferior y Medio realmente son unidades temporales a través de toda la provincia europea del noroeste.

Extensión y significado de las lagunas en el Jurásico Inferior y Medio en el noroeste de Europa. Si las zonas del Jurásico Infe-

rior y Medio del noroeste de Europa son unidades cronoestratigráficas dentro de la provincia, ¿cuál es el alcance y el significado de los frecuentes contactos zonales precisos? Brinkmann y Callomon demostraron en Bretaña que el contacto Coronatum-Jason del Caloviano Medio marca una laguna en el registro paleontológico. Al parecer, este contacto también coincide en muchos lugares en la porción continental de la provincia, con una laguna paleontológica, al menos con una discordancia local pequeña y con el correspondiente retrabajo de los amonitas. De cualquier manera esto es posible, pues los kosmocéridos deben haber vivido en el preciso instante de la depositación restringida, en alguna o algunas partes de la región. La Europa noroccidental fue su tierra natal y fueron muy abundantes en cualquier sitio. En otros contactos de la zona, aparecen fósiles guía exóticos, quizá como inmigrantes del mar de Tetis (compárese con Spath, 1933, Pág. 427) y desaparecieron, quizá se extinguieron sin dejar progenie.

Significado universal de las zonas del Jurásico del noroeste europeo. Ninguna zona del Jurásico Inferior y Medio del noroeste de Europa tiene una amplitud universal. Sin embargo, muchas de las zonas han sido reconocidas en uno o más lugares fuera de la provincia (compárese Tabla 1), por la presencia de las especies índice de la zona, otros fósiles guía y especies estrechamente afines. Tomemos por ejemplo las correlaciones del Jurásico Inferior entre Europa y el oriente de México (Tabla 5). Nótese que las zonas 4, 5, 9 y 10 de la sucesión europea están correlacionadas con seguridad con las zonas mexicanas locales ("faunizonas") aunque ninguna especie índice (nombre de la zona) y casi ningún amonita es común a las dos regiones. Algunas especies mexicanas, sin embargo, son muy similares a las guías de las zonas europeas; son ejemplos *Echioceras densicosta* de México, con cerca de 25 costillas en la última espiral comparadas con las 18 de la especie índice de la Zona *Echioceras raricostatum* y la *Coroniceras pseudolyra* de México similar a la *Coroniceras lyra* de la Zona *Arietites bucklandi.* Hay dificultades en los horizontes de las zonas 6, 7 y 8 (Tabla 1). En México no se ha reconocido nada semejante a la zona 6. El autor de la Tabla 5 (Erben, 1956) consideró formalmente correlacionar la zona 8 (*Oxynoticeras oxynotum*) del noroeste de Europa con la Zona de México de *Oxynoticeras* sp., pero finalmente eligió la correlación de la zona 7, (*Asteroceras Vermiceras*) mostrada en la Tabla 5. Estas caídas en el isocronismo de la *Oxynoticeras* originaron la ausencia de dos faunizonas. La correlación de la Tabla 5 o de cualquier otra serie de parejas posible deja dos zonas en cada región no aparejadas en la otra.

TABLA 5. CORRELACIONES DEL JURASICO INFERIOR: NOROESTE DE EUROPA Y MEXICO (ERBEN, 1956)

Piso	Zona del noroeste de Europa (Tabla 1)	"Faunizonas" de Amonitas del centro oriente de México
Pliensbachiano	10. *Uptonia jamesoni*	*Uptonia* sp.
Sinemuriano	9. *Echioceras raricostatum*	*Microderoceras bispinatum altespinatum* *Echioceras burckhardti*
		Pleurechioceras? james-danae *Pleurechioceras subdeciduum*
	8. *Oxynoticeras oxynotum*	? ?
	7. *Asteroceras obtusum*	*Vermiceras bavaricum mexicanum**
		Oxynoticeras sp.†
	6. *Caenisites turneri*	? ?
	5. *Arnioceras semicostatum*	*Euagassiceras subsauzeanum* *Arnioceras geometricoides*
	4. *Arietites bucklandi*	*Coroniceras pseudolyra*
	(Subzonas de *Coroniceras*)	

* Correlación dudosa.
† Quizá igual a la zona Europea 8.

Realmente, el aparejamiento de zonas entre el este de México y el noroeste de Europa es excepcionalmente estrecho. En general, la correlación intercontinental, zona por zona, no es práctica. Para muchos horizontes pueden utilizarse unidades más grandes y más generalizadas, los subpisos.

Pisos y subpisos del Jurásico Inferior y Medio

Pisos y subpisos tipo del noroeste de Europa. Las zonas de la Tabla 1 están agrupadas en pisos. Aunque fueron establecidos antes que las zonas, un *piso* se define más precisamente en función de las zonas que lo forman en su área tipo, el cual, para el Jurásico Inferior y Medio se encuentra en el noroeste de Europa. Puesto que los pisos están basados en las zonas, también se definen sobre una base paleontológica. Los pisos tienen contactos que pueden cruzar oblicuamente los contactos de las formaciones, aun en las áreas tipo; pueden estar representados por diferentes facies litológicas en diferentes áreas; pueden identificarse en aislados lugares distantes —todo debido a que están basados en asociaciones de fósiles guía—. En 1956, justamente antes de su muerte, el estratígrafo inglés W. J. Arkell

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M.G.

(1956, Pág. 9) refiriéndose a los pisos del Jurásico escribió:[2] "Como unidades de la única escala de clasificación mundial, los pisos deben estar basados en las zonas... Son esencialmente agrupamientos de zonas, pero trascienden a las zonas tanto vertical como horizontalmente." Verticalmente una sucesión de zonas puede formar un piso. Horizontalmente, la zona característica de las asociaciones de fósiles puede desaparecer, pero el piso todavía puede ser reconocible y aun divisible. Por lo tanto, para correlaciones distantes son necesarios los pisos y subpisos. Un *subpiso* es la mayor división de un piso, definido en función de las zonas que lo forman en el área tipo. Cada piso del Jurásico Medio es dividido en los subpisos superior, medio e inferior. Los tres pisos más altos del Lías, Toarciano, Pliensbachiano y Sinemuriano, tienen subpisos superior e inferior; el Hetangiano no está dividido.

Reconocimiento del Caloviano y otros pisos fuera de Europa. El muestreo de las secciones del Jurásico Inferior y Medio en Asia y en América se muestran en la Tabla 1, columnas 6-13. El Caloviano es el único piso representado en las 8 columnas. Los tres pisos más bajos se encuentran juntos en dos y probablemente en tres de las 8 columnas y en estas dos o tres está totalmente representado. Las Montañas del Cáucaso (columna 6) y los Andes centrales y meridionales (columna 13) tienen secciones excepcionalmente completas. Nótese particularmente el número de zonas europeas que han sido identificadas en los Andes, dos tercios del camino alrededor del globo.

El piso Caloviano, en la cima del Jurásico Medio, está muy extendido y es variado. Varias de sus zonas son reconocibles fuera del occidente de Europa, principalmente en el Cáucaso y en Cutch, India (Tabla 1). Cutch en el borde nororiental del Mar de Arabia, tiene quizá la sucesión más fosilífera y compleja paleontológicamente situada en la parte inferior del Caloviano, en el mundo. Es difícil hacer una estrecha correlación con Europa debido a que las faunas de Cutch están constituidas principalmente por elementos orientales. Aquí es desconocida la *Kosmoceras*.

Se ha informado de la presencia del subpiso Caloviano Inferior en varias áreas del occidente de América del Norte. En el área de

[2] Los pisos del Jurásico Medio estuvieron basados muy estrechamente en las formaciones de William Smith. El piso Caloviano fue nombrado de la Kelloways Stone de Smith, por latinización; incluye también gran parte de la Oxford Clay sobreyacente. El Piso Bathoniano incluye la Great Oolyte de Smith o Bath Freestone, nombrada según Bath, Inglaterra, y también la Forest Marble and Clay. El Bajociano es el Under Oolyte de Smith, pero la localidad tipo se encuentra cruzando el Canal en Bayeux, Normandía. Los cuatro pisos del Jurásico inferior fueron formados de las arcillas, lutitas y calizas del Lías de Smith, pero las localidades tipo están en Francia y Alemania. A diferencia de las zonas, los pisos han permanecido prácticamente inalterables desde 1864.

Wyoming-Montana se han diferenciado cinco zonas regionales (Imlay, 1953). En la misma región una zona con *Quenstedtoceras* puede ser casi equivalente a la Zona de Europa de *Quenstedtoceras lamberti*, la zona más alta del Caloviano en la sección tipo (Tabla 4).

En el hemisferio sur no existen algunos de los géneros más característicos del Caloviano europeo, pero este piso puede reconocerse "por el grado general de evolución de la fauna de amonitas en conjunto y por una cadena de correlaciones traslapantes llevadas, eslabón por eslabón, alrededor del mundo" (Arkell, 1956, Pág. 12).

Correlación cronológica de la homotaxis del piso y del subpiso. En el enunciado arriba citado, Arkell supuso (1) que la presencia en dos localidades del mismo amonita guía era prueba suficiente para el sincronismo y (2) que los "traslapes" locales del provincial tactismo de los amonitas son también pruebas aceptabes para el sincronismo. Muchos de los estratígrafos paleontólogos, aunque no todos, han hecho suposiciones semejantes. Ahora debemos considerar cuándo son justificadas tales suposiciones.

Son difíciles de formular otras posibilidades que no sean las del sincronismo en una forma general y exhaustiva, debido especialmente a que los datos varían de horizonte a horizonte. Respecto a los amonitas guía de los pisos y subpisos del Jurásico Inferior y Medio, debemos suponer que las variaciones de las facies locales han sido explicadas al nivel de la zona. El alcance provincial de las facies no crea problemas homotaxiales. Las posibilidades de un error significativo en el nivel del subpiso parecen ser dos: (1) la diferencia en la variación cronológica de los guías del subpiso en dos o más distritos o provincias así como la supervivencia en una provincia distante después de la extinción en su morada natal o viceversa, y (2) interpretaciones erróneas de las diferencias en los detalles o ritmo de evolución en dos provincias separadas por una barrera. Los problemas en discusión son la probabilidad y la magnitud de estas fuentes de error. Todos los casos deben ser tratados de acuerdo con sus propios méritos aunque el efecto acumulativo de la prueba del sincronismo para horizonte, según el horizonte servirá para establecer una suposición favorable para el sincronismo de otros casos.

Tomaremos al piso Toarciano del Jurásico Inferior como un ejemplo. Las faunas típicas de este piso pueden seguirse alrededor del mundo en el hemisferio norte, desde el occidente de Europa hasta la cuenca del Donetz del sur de Rusia, el Cáucaso, Persia, Beluchistán, Indonesia, Indochina, Corea, Japón, Alaska, una isla del Canadá Artico, oriente de Groenlandia y regreso al noroeste de Europa (Arkell, 1956). En cualquier parte de Europa se encuentran géneros guía y en muchos lugares europeos se encuentran especies guía.

Grammoceras thouarsense es un fósil guía situado en la parte media del piso en la sección tipo que se localiza en Thouars, Francia. La misma especie se encuentra en la misma posición homotaxial en el Toarciano del Cáucaso. Otros fósiles guía del occidente de Europa también ocurren en el Cáucaso, más o menos en el orden típico, aunque la gruesa sección tiene complejidades estructurales de las que no se han hecho estudios definitivos. En el Japón, las zonas del Toarciano son muy semejantes a las del occidente de Europa, con géneros europeos típicos, pero peculiares a las especies de la zona japonesa. En el oriente de Groenlandia el Toarciano Superior y una zona del Toarciano Inferior (No. 17) pueden ser diferenciados con especies guía similares a las de Europa (Callomon, 1961). Las localidades del Toarciano varían en latitud desde cerca del Ecuador (Indonesia), hasta casi el Polo Norte (la isla del Artico). Las facies varían desde las de plataforma hasta las gruesas de geosinclinal interestratificadas con rocas volcánicas (Cáucaso). En el Japón se conocen unos 450 metros de lutitas y areniscas del Toarciano y en el Cáucaso de 4 500 a 6 000 metros del mismo tipo de rocas, interestratificadas con capas de aguas dulces que contienen carbón.

Imaginemos que las dos faunas sucesivas del Toarciano, que generalmente pueden reconocerse, (Inferior y Superior) se originaron en el noroeste de Europa y emigraron hacia el este, y solamente hacia el este, alrededor del mundo, evolucionando lentamente durante la migración y que después de la circunnavegación la fauna inferior evolucionó a la superior. Para entonces, los emigrantes al alcanzar Japón, probablemente ya habían desarrollado nuevas especies. Hasta aquí la hipótesis se ajusta a la evidencia, aunque la evidencia de una migración hacia el oriente termina en este país. Las especies japonesas no lograron alcanzar Alaska o Groenlandia. La escasez de pruebas sugiere una hipótesis diferente, a saber, que la migración se efectuó tanto al oriente como al poniente desde un centro evolutivo que bien pudo haber incluido tanto al mar de Tetis como a la plataforma europea desarrollándose especies locales en áreas distantes más o menos aisladas, tales como Japón pero con una comunicación suficientemente completa y rápida que permitiera a la fauna del principio del Toarciano encontrarse en todas partes agobiada por la segunda, inmediatamente después de que ésta alcanzó sus características definitivas en cualquier parte. Esta hipótesis explica la sucesión similar de los géneros del Toarciano alrededor del mundo, en Japón así como en Europa. Es decir, la evidencia favorece la interpretación de la homotaxis del Toarciano en Europa, Japón, etc., como prueba para la correlación cronológica de los estratos circundantes altamente variados, subpiso por subpiso o aun zona por zona en algunos lugares.

El Toarciano es un piso instructivo especialmente, aunque cuando se trabaje alrededor del mundo debe uno poner cuidado con el fin de encontrar en todas las localidades los mismos géneros típicos europeos del Toarciano Inferior. Siguiendo una dirección más hacia el sur desde Europa hasta el Océano Indico se producen una serie de resultados algo diferentes para el Toarciano Inferior. Esta ruta va desde el noroeste de la Plataforma Europea hasta Portugal y de ahí salta hasta Arabia, Africa Oriental y Madagascar, en donde, en el margen meridional del Tetis, la peculiar fauna de *Bouleiceras*, algo diferente en el noroeste de Europa, caracteriza una provincia llamada Etiopiana por Arkell (1956, Pág. 614). En Portugal, la *Bouleiceras* ocurre de por sí en las mismas capas con los guías del noroeste de Europa; éste es "el traslape". La fauna del Toarciano Inferior de la provincia Etiopiana tiene afinidades orientales que quizá hagan posibles las correlaciones con Beluchistán y oriente de Asia, pero esta correlación no está tan bien establecida como las de la ruta norte. Uno puede afirmar positivamente que el Toarciano Inferior de Arabia es el equivalente cronológico del Toarciano Inferior del noroeste de Europa, pero no puede decirse que esta correlación cronológica es más verosímil que cualquier otra.

Provincialismo del Jurásico Superior

El provincialismo de los amonitas aumenta en el Jurásico Superior. Las correlaciones en el piso más bajo del Jurásico Superior, el Oxfordiano, se llevan a cabo de la misma manera que para el Caloviano (Arkell, 1956, Pág. 12). También son posibles las correlaciones universales para la parte inferior del piso inmediato superior, el Kimmeridgiano. Sin embargo, para la parte restante del Jurásico Superior, están muy bien definidas tres provincias europeas: la Europea noroccidental, la Tética y la Rusa-Artica o Boreal. Las faunas más altas del Jurásico, las más satisfactorias para la homotaxis y las correlaciones cronológicas, ambas de carácter universal, son las del piso Tithoniano del occidente del mar de Tetis (Gignoux, 1955, Pág. 354) con localidades tipo en o cerca de los Alpes Franceses. De estos niveles fosilíferos tan altos del Jurásico la Europa noroccidental no puede proporcionar al mundo un nivel tipo.

Las faunas ruso-árticas pueden reflejar facies de aguas frías aunque se conocen algunos géneros de partes ampliamente separadas de la gran región del Pacífico. En algunas partes de esta región son raros los amonitas o están ausentes y las correlaciones entre la

cima del Jurásico y base del Cretácico se hacen utilizando especies del género *Aucella* (también llamado *Buchia*) que son semejantes a los ostiones. Las conchas de varias especies de *Aucella* son abundantes en la Rusia Europea y en California y también se conocen en México y en Nueva Zelanda.

Las faunas del Jurásico Superior de la Provincia del Noroeste de Europa pueden representar alternancias de condiciones de aguas frías y de aguas calientes. Los géneros de amonitas septentrionales aparecen en el Mediterráneo en la base del Oxfordiano y los arrecifes de coral del Oxfordiano Superior están presentes muy al norte, hasta el centro de Inglaterra.

Una vez que las provincias han sido definidas con toda precisión la correlación entre ellas se hace difícil aunque no imposible. Sin embargo, las correlaciones universales del Jurásico Superior, pueden llevarse a cabo, pero dada la situación actual, resultarían impresionantes, por contraste, con las correlaciones bien establecidas del Jurásico Inferior y las de una parte del Jurásico Medio.

Cima y base del Jurásico

Contactos en la sección tipo. Al sur de Inglaterra, las formaciones del Jurásico marino, con amonitas guía, forman una unidad natural, limitada arriba y abajo por capas transicionales a formaciones continentales. La unidad más alta del Jurásico de Inglaterra, la Purbeckiana, salobre y de agua dulce, sin amonitas, está cubierta por las capas continentales Wealden del anticlinal Weald, al sur de Londres, las cuales ya pertenecen al Cretácico. Las capas basales de transición reciben el nombre de Rético (o Retiano) y están constituidas principalmente de calizas y lutitas que contienen pectenes y otros moluscos marinos de aguas someras aunque también incluyen una capa de huesos con abundantes restos de peces, anfibios y reptiles. La localidad tipo el Rético se localiza al sur de Alemania y al norte de Tirol; ahí, en los Alpes septentrionales, contiene unos cuantos amonitas con aspecto de los del Triásico que justifican su incorporación a aquel sistema. Tanto en Inglaterra como en Alemania el Rético está cubierto concordantemente por la Zona de *Psiloceras planorbis,* zona 1 del Jurásico.

Extensión de la Zona Planorbis. La parte más inferior se conoce como la Zona de Planorbis en toda el área de plataforma del noroeste de Europa y en Inglaterra y en Francia es divisible en dos subzonas. La Zona de Planorbis también se ha reconocido en Sicilia, Columbia Británica Occidental (Canadá Occidental en la Tabla 1) y en Perú. Las capas que contienen especies del género guía *Psiloceras,* están próximas con toda probabilidad al horizonte de la Zona de Planorbis;

también se conocen al occidente de Nevada, Nueva Zelanda, Nueva Caledonia y (de los cantos rodados) en Timor. En el centro de Europa y en Nevada, los estratos de Planorbis cubren capas que contienen los amonitas característicos de la parte más alta del Triásico.

Precisión de la base del Jurásico. La base de la Zona de Planorbis, la más baja del Jurásico, parece ser el ejemplo más perfecto de un horizonte del Mesozoico determinado por fósiles que pueden reconocerse en varios continentes. Haremos las estimaciones de la probable precisión de este horizonte en años y en porcentaje de su edad. Tomemos la duración promedio probable de 750 000 años para una zona del Jurásico como ya quedó asentado en páginas previas. A juzgar por las variaciones encontradas en los guías de zona en la plataforma europea, las especies guía del Jurásico no tuvieron una permanencia más larga que el tiempo representado por la zona europea. Si la Zona de Planorbis hubiese consumido el doble del tiempo promedio para su depositación, esto es, alrededor de 1.5 millones de años, la edad de la base del Jurásico dondequiera que esta Zona la represente probablemente no variará más allá del lapso indicado. Puesto que 180 millones de años es una suposición razonable para la edad radiométrica de la base del Jurásico (Holmes, 1960; Kulp, 1961), la base de la Zona de Planorbis, en cualquier parte donde ésta se presente, puede correlacionarse, aun de continente a continente, con una precisión probable de uno porciento o más, aunque esta estimación no está basada evidentemente sobre procedimientos estadísticos normales.

Homotaxis y correlaciones del Triásico y Cretácico

Los sistemas del Triásico y del Cretácico se han dividido en zonas y éstas, a su vez, se han agrupado en pisos en una forma semejante a como se hizo con el Jurásico. Los amonitas son los principales fósiles guía marinos. La homotaxis suplementada por correlaciones de traslape, es universal para porciones grandes de cada sistema. El Cretácico marino es considerablemente más amplio que el Jurásico y en esta relación el Triásico marino lo es considerablemente menos. El área tipo para el Triásico se localiza en los Alpes orientales, donde se han establecido seis pisos (Brinkmann, 1954, Pág. 175). Las secciones tipo actualmente reconocidas para 12 pisos del Cretácico se encuentran, por lo común, en Francia, aunque algunas se encuentran fuera de este país (Gignoux, 1955, Págs. 392, 398; véase también "Daniano" abajo, situado en la parte inmediata

Biblioteca Municipal "Martlo Mendes"
Ouiz de Fora — M. G.

inferior del Cenozoico). En muchas regiones el Cretácico Superior contiene pocos amonitas los cuales son reemplazados por los equinoides, los foraminíferos, los pelecípodos y los gasterópodos los cuales son utilizados para correlaciones locales. El estudio de la fauna de los amonitas (y foraminíferos planctónicos) indica que las correlaciones al nivel del subpiso generalmente están justificadas, como en el Jurásico.

Conclusiones que conciernen a los pisos del Mesozoico

Como un resumen de nuestras consideraciones de los pisos del Mesozoico y sus faunas de amonitas, pueden hacerse los siguientes enunciados.

1. Los pisos del Mesozoico son agrupamientos de hojas de roca llamados zonas, basados en sus asociaciones de amonitas.
2. Aunque las zonas son más o menos locales, los pisos y aun los subpisos de esta era son de extensión universal en su mayor parte, siendo esto posible por las correlaciones hechas paso a paso de las asociaciones de amonitas que han cambiado geográficamente.
3. Los pisos y subpisos del Mesozoico son unidades cronoestratigráficas: cada piso o subpiso está compuesto de estratos que se acumularon casi al mismo tiempo en todos los lugares donde el piso o el subpiso ha sido identificado apropiadamente.

El último enunciado es de vital importancia, pues contiene dos frases ambiguas, "casi al mismo tiempo" e "identificado apropiadamente" sobre las que es necesario hacer un especial énfasis. La segunda es más fácil de tratar. Una identificación apropiada debe implicar el uso de los amonitas, cuya variación estratigráfica estaría relacionada con las variaciones de los amonitas guía en los pisos europeos pertinentes por los métodos indicados en las páginas previas. "Casi al mismo tiempo" expresa la seguridad de que se dispone de poco tiempo para el traslape de los pisos (o subpisos). Por ejemplo, pensamos, que prácticamente todo el Sinemuriano marino de todas las regiones fue depositado antes de la acumulación de cualquiera de los estratos amonitíferos pertenecientes al Pliensbachiano. El grado de nuestra seguridad y las razones que lo sustentan han sido establecidos en los párrafos que se refieren a la homotaxis del Jurásico Inferior europea-mexicana (compárese Tabla 5).

Fósiles guía y correlaciones del Paleozoico

El Paleozoico no ha proporcionado ningún grupo particular de animales que pueda constituirse en una serie adecuada de fósiles guía. Los amonoides goniatíticos son útiles para el Paleozoico Superior aunque son menos numerosos y con una distribución más restringida que sus afines del Mesozoico. Las zonas de Goniatites tienen el mismo significado que los pisos del Mesozoico. Pueden establecerse zonas casi igualmente valiosas utilizando otros organismos. Los trilobites se destacan para el Cámbrico, los graptolites para las facies del geosinclinal del Ordovícico y el Silúrico y los foraminíferos fusulina para el Pensilvánico y el Pérmico. En las lutitas y calizas extendidas y altamente fosilíferas de las amplias plataformas continentales, los fósiles guía más útiles, especialmente para correlaciones a corta distancia, son los braquiópodos.

Subsistemas y pisos del Paleozoico. Cada sistema del Paleozoico abajo del Carbonífero es dividido en tres partes y estos subsistemas tienen un significado correlativo universal. Abajo del Devónico, los pisos u otras unidades de extensión universal más pequeñas que los subsistemas parecen estar en una posición relativa incierta, al menos temporalmente. Recientemente, Bell (1960) y Berry (1961) han enfatizado las dificultades de las correlaciones de los pisos interprovinciales en el Cámbrico y en el Ordovícico. En el Devónico marino se han establecido pisos útiles con áreas tipo en Bélgica o en la región del río Rin. Gignoux (1955, Pág. 120) dio los siguientes pisos de abajo hacia arriba: Gedinniano y Coblenciano en el Devónico Inferior, Eifeliano y Givetiano en el Devónico Medio, Frasniano y Famenniano, en el Devónico Superior. Brinkmann dio (1954) una lista algo diferente con 9 pisos. El Carbonífero se divide en Inferior (también llamado Dinantiano o Misisípico, aunque estos dos términos no son sinónimos; compárese, Brinkmann, 1954, Pág. opuesta 106) y Superior (Pensilvánico o Coal Measures).* El Carbonífero Superior se divide en tres pisos que nombrados en orden ascendente son, Namuriano, Westfaliano y Estefaniano con las secciones tipo más satisfactorias (probablemente lo sea más para el Estefaniano) en Bélgica, Alemania centro occidental y Rusia central debido a que ahí están presentes bandas marinas. Cada piso contiene goniatites característicos y los dos superiores tienen fusulinas guías (Brinkmann, 1954, Pág. opuesta 106). Para el Pérmico, Brinkmann (1954, Pág. opuesta 132) dio para el Viejo Mundo una serie compuesta de cinco pisos con amonoides y fusulinas guía. De la base a la cima,

* Nombre con el que se conoce el Carbonífero en Inglaterra. (N. del T.)

con los equivalentes en Texas Occidental en paréntesis, los pisos de Brinkmann son Sakmara (Wolfcampaniano), Artinsk (Leonardiano), Sosio (Wordiano), Basleo (Capitan) y Chideru (Ochoa). Una serie compuesta de pisos no es satisfactoria aunque el Pérmico típico de la Rusia europea es de salobre a continental en su parte superior.

En Estados Unidos todo el Paleozoico ha sido provisto con pisos locales más o menos independientes y otras unidades (Véase C. O. Dunbar y otros, 1942, 1944, 1948, 1954, 1960) con secciones o localidades tipo en este país.

Correlaciones del Cenozoico

El primer problema ligado al Cenozoico es su definición así como la de sus subdivisiones marinas en la región tipo europea. Parece ser una práctica muy generalizada colocar al Daniano de Dinamarca como parte del Cenozoico y señalar la cima del Mesozoico en la cima del Maestrichtiano en Holanda y Dinamarca (Loeblich y Tappan, 1957, Pág. 1113; Bramlette y Sullivan, 1961, Pág. 136). Supuesto que algunos de los pisos marinos del Cenozoico de carácter universal aún son válidos, no obstante, son claras las perspectivas para alcanzar buenos resultados en el Paleógeno utilizando foraminíferos planctónicos y el nannoplancton (Loeblich y Tappan, 1957; Bolli, 1959; Bramlette y Sullivan, 1961). La serie del Cenozoico —Paleoceno, Eoceno, Oligoceno, Mioceno, Plioceno y Pleistoceno— están bien establecidas, actualmente al menos como nombres, aunque hay una considerable variación en el número, terminología, y distribución de los pisos que forman el volumen de la serie en la sección tipo europea (compárese Brinkmann, 1954, Pág. 254, con Gignoux, 1955, Págs. 472 y 557). La base del Mioceno es colocada indistintamente en la base del Aquitaniano, en el contacto Burdigaliano-Aquitaniano y en la cima del Burdigaliano. Para Brinkmann está en el Subquitaniano y para Gignoux en el Suburdigaliano. Drooger (1954, 1956), en el lapso de dos años bajó la base del Mioceno de Europa desde la cima del Burdigaliano hasta la base del Aquitaniano. Las correlaciones allende los mares son menos definidas. Recientemente Eames y otros (1962) sugirieron que la Vicksburg y otras formaciones de Estados Unidos, generalmente consideradas Prequitaniano del Oligoceno deberían subirse hasta el Mioceno. Por lo común, las correlaciones marinas intercontinentales del Cenozoico son excepcionalmente difíciles. Las dificultades aumentan si se consideran las correlaciones que implican mamíferos terrestres.

Divisiones del tiempo geológico

Los sistemas y los pisos son divisiones de las rocas. Si estamos de acuerdo en que los procedimientos por medio de los cuales destinamos a todas las rocas sedimentarias que cubren al mundo a sistemas y subsistemas particulares, o aun a pisos y subpisos, son, al menos, en casos favorables, correlaciones de estratos contemporáneos, por lo que podemos hacer la transición desde la división estratigráfica de las rocas hasta la división del tiempo geológico. Desde luego podemos reconocer los periodos geológicos y las subdivisiones principales de los periodos: Principio del Cámbrico como la época del depósito de las rocas del Cámbrico Inferior; mediados del Cámbrico para la época del depósito de las rocas del Cámbrico Medio, y Final† del Cámbrico para la época del depósito de las rocas del Cámbrico Superior; etc. Pueden hacerse algunas mejores subdivisiones del tiempo, especialmente en el Mesozoico. El Caloviano fue la época del depósito de las rocas del Caloviano; a principios del Caloviano fue la época del depósito de las rocas del Caloviano Inferior.

Muchos periodos tuvieron una longitud que varió entre 40 y 70 millones de años (Compárese Holmes, 1960; Kulp, 1961). Los subperiodos tuvieron aproximadamente de 15 a 20 millones cada uno. Los subperiodos del Cámbrico probablemente fueron más largos; una fauna del Cámbrico Inferior de China podría tener una edad incierta de 35 millones de años considerando solamente la vaguedad de una correlación. Los pisos del Mesozoico son más precisos. Hay alrededor de 11 pisos del Jurásico y 12 del Cretácico. Si los periodos del Jurásico y del Cretácico fueron respectivamente de 45 y 65 millones de años de duración (compárese Holmes, 1960; Kulp, 1961), cada piso del Jurásico o Cretácico representa, en promedio, de 4 a 5 millones de años. El piso de muy al principio del Jurásico, el Hettangiano, el cual incluye solamente tres zonas, representa un tiempo más corto. Muchos subpisos del Mesozoico son una mitad o una tercera parte de un piso y de esta manera pueden representar de 1.5 a 2.5 millones de años cada uno.

Lagunas y la columna geológica

Reconocimiento y nombramiento de lagunas. Cada laguna en la sucesión de rocas representa un lapso. El tiempo representado por la laguna de 135.5 cm en Peterborough, entre las zonas Jason y Coronatum del Caloviano Medio es parte de la época del Calo-

† Los vocablos tempranero y tardío suelen usarse en vez de los vocablos principio y final. (N. del T.)

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M.G.

viano. Medio. Sin embargo, si se desea subdividir esta época, ¿tendría que hacerse la división en dos partes —Jason y Coronatum— o en tres partes —Jason, laguna y Coronatum?—. Si se está considerando la escala del tiempo global, este problema particular es imaginario puesto que la estratigrafía zonal europea no puede extenderse a todo el mundo. Problemas semejantes han surgido en relación a pares de periodos. ¿Pueden reconocerse intervalos de interrupción entre periodos? Sin embargo, si existió una gran laguna entre el Cámbrico y el Ordovícico típicos de Gales y si existió otra en la sección menos complicada del Cámbrico-Ordovícico de Escandinavia, ¿nada más por este hecho, un estratígrafo estadunidense con una sección más completa debe intercalar una nueva unidad entre el Cámbrico y el Ordovícico? Esto fue, lo que en parte trató de hacer Ulrich con su Sistema Ozarkiano (Ulrich, 1911, Pág. 608). Parece que ha sobrevenido un consenso de opinión en relación a los rellenos de las lagunas. No se han establecido nuevos sistemas. Las unidades estratigráficas con faunas de relleno de lagunas pueden ser asimiladas por los sistemas y subsistemas de columnas tipo ya establecidas. Cómo puede hacerse esto, constituye un problema de ajuste o traspaso. Por ejemplo, los estratos marinos que parecen estar situados en la parte más alta del Pérmico marino ruso y en la parte más inferior del Triásico marino alpino se colocan en el Pérmico y no en el Triásico (Brinkmann, 1954, Pág. opuesta 132).

No obstante, el problema de los "intervalos" continúa. ¿Todavía existen algunas lagunas grandes sin rellenar? Las discordancias que forman lagunas sobre las plataformas continentales no son muy convenientes a nuestro fin, máxime que actualmente se ha descubierto que cerca de las márgenes de las plataformas las cuencas tienen secciones más continuas. Los estudios de secciones superficiales y de subsuelo en las áreas de las cuencas han llenado muchas de las lagunas evidentes de las secciones fosilíferas marinas. Se han encontrado transiciones desde el Precámbrico hasta el Cámbrico (sureste de California-Nelson 1962), desde el Pérmico hasta el Triásico (Newell, 1962) y del Cretácico al Terciario (California central-Payne, 1951; Schoellhamer y Kinney, 1953). Ahora parece probable que en alguna parte, en algún continente o isla o abajo de un pequeño mar o un mar de tamaño moderado, existen estratos sedimentarios que se formaron durante el tiempo representado por cada laguna medible paleontológicamente en el registro europeo.

Cambios y lagunas faunales. Debe tenerse en cuenta que no todo cambio faunal es prueba de una laguna paleontológica. Aun cuando las facies ecológicas son similares o idénticas y el conjunto del grupo de los animales desaparece en un horizonte como sucede

con los amonitas y los plesiosaurios en el contacto Cretácico-Terciario en California, la laguna paleontológica y estratigráfica puede ser pequeña. En el lado occidental del Valle de San Joaquín (Schoellhamer y Kinney, 1953), las lutitas y areniscas de la Formación Moreno están cubiertas con ligera discordancia por areniscas, lodolitas y arcillitas de la Formación Lodo la cual es glauconítica en la base, pero el contacto Cretácico-Terciario, determinado por fauna, está en la Formación Moreno a 60 metros abajo de la discordancia. Los fósiles guía del Paleoceno provincial, *Flabellum remondianum* Gabb, un coral y el *Brachysphingus sinuatus* Gabb, un gastrópodo, fueron colectados de un lente de arenisca de unos 24 metros de espesor situados en la Formación Moreno. La cima de este lente se encuentra a unos 60 metros abajo del contacto con la Formación Lodo. Las lutitas Moreno, a unos 180 metros o más, abajo del lente de arenisca contienen amonitas del Maestrichtiano y varias clases de grandes reptiles del Mesozoico: como plesiosaurios, un mosasaurio y el dinosaurio *Trachydon*. No se ha encontrado ninguna interrupción estratigráfica física entre los fósiles guía más inferiores del Paleoceno y los guías más altos del Cretácico. Regionalmente, los abundantes foraminíferos marinos de los más altos estratos del Cretácico son tan similares a los más bajos del Paleoceno inferior que colocar algunas de las faunas en el Cretácico o en el Paleoceno es algo incierto (compárese Goudkoff, 1945, Pág. 1004).

Discusión sumaria

Generalizaciones bioestratigráficas. Las correlaciones estratigráficas por medio del uso de fósiles guía están basadas sobre observaciones repetidas con intervalos de 100 a 150 años, obteniéndose resultados tan uniformes que bien pueden resumirse como generalizaciones empíricas: (1) Las especies y géneros de los fósiles en una sola columna varían de horizonte a horizonte. (2) La homotaxis ocurre entre las columnas. (3) Dentro de una provincia, las especies guía útiles en la correlación cronológica pueden establecerse para un horizonte según el horizonte, utilizando los métodos descritos en este trabajo en relación con las zonas del Jurásico Inferior y Medio de la Europa noroccidental. (4) Las correlaciones más distantes, como entre provincias, pueden hacerse paso a paso utilizando las asociaciones que varían gradualmente. Las correlaciones cronológicas basadas en sucesiones evolutivas homotaxiales pueden llegar a distinguirse con más facilidad de las correlaciones erróneas de zonas de facies a medida que se aprende más en lo tocante a la evolución e historia geológica de las familias implicadas. Muchos de los estudios

hechos con anterioridad sobre los grupos de amonitas se debilitaron al usar la ahora desacreditada ley biogenética: la ontogenia recapitula a la filogenia. La clase de estudio que es necesario realizar se explica en el trabajo de Brinkmann sobre la *Kosmoceratidae* aunque ahora el trabajo merezca el honor del reestudio y la revisión. Será difícil hacer extensivo este trabajo debido a que muy pocas familias tienen sus Peterboroughs.

Las correlaciones basadas sobre la aparición o desaparición de los principales grupos como los trilobitas, los amonitas o los mamíferos son inherentemente inseguros (Huxley, 1870). Considérese, por ejemplo, lo absurdo de una correlación basada sobre la primera aparición de los mamíferos euterianos en América del Norte y Australia. Esta regla no impide que especies o géneros de amonitas sean guías seguros para la parte más alta del Cretácico.

En circunstancias favorables, tales como las que prevalecieron para el Jurásico Inferior y Medio del noroeste de Europa, las correlaciones cronológicas dentro de una provincia pueden ser muy precisas. Sin embargo, para una comparación trascendente con las edades radiométricas pueden considerarse las correlaciones interprovinciales de un carácter casi universal. La precisión de estas correlaciones varía de una parte de la columna geológica a la otra. En el Jurásico y Cretácico en una correlación cronológica basada en numerosos especímenes guía de amonitas bien conservados difícilmente puede cometerse un error más grande que un subpiso, quizá $\pm$ 2 millones de años. La base del Cámbrico Inferior fosilífero, por otro lado, puede variar por decenas de millones de años.

Estratigrafía y tiempo. Los pisos y sistemas geológicos son unidades de segundo orden y los periodos geológicos, en alguna forma, son de tercer orden. La estratigrafía comienza con las columnas locales de una región de las que se derivan principalmente las columnas generalizadas de los pisos y sistemas. La escala del tiempo tipo se deriva directamente de la columna tipo y no de ninguna otra fuente, excepto para los detalles del Principio del Pleistoceno. Los fósiles de las unidades en la columna tipo y de otras unidades en otras columnas son todavía nuestros guías principales en la correlación estratigráfica, aunque por supuesto damos la cordial bienvenida a la calibración estadística de la columna tipo, en años, por medio de los datos radiométricos.

REFERENCIAS

Arkell, W. J., 1947, The geology of the country around Weymouth, Swanage, Corfe, and Lulworth: Great Britain, Geol. Survey Mem., 386 pp.

———, 1956, Jurassic geology of the world: Edinburgh, Oliver and Boyd, 806 pp.

Bandy, O. L., 1953, Ecology and paleoecology of some California foraminifera: J. Paleont., vol. 27, pp. 161–182, 200–203.

Bell, W. C., 1960, Cambrian, *in* McGraw-Hill Encyc. Sci. Techn.: New York, McGraw-Hill, pp. 424–427.

Bentz, A., 1928, Über Strenoceraten und Garantianen insbesondere aus dem mittleren Dogger von Bielefeld: Jahrb. Preuss. geol. Landesanst., pp. 138–206.

Berry, W. B. N., 1961, Chorology, chronology, and correlation: Geol. Soc. Am., program Ann. Mtg., pp. 10A–11A.

Bolli, H. M., 1959, Planktonic foraminifera as index fossils in Trinidad, West Indies and their value for worldwide stratigraphic correlation: Eclogae Geol. Helvetiae, vol. 52, pp. 627–637.

Bramlette, M. N., and Sullivan, F. R., 1961, Coccolithophorids and related nannoplankton of the early Tertiary in California: Micropaleont., vol. 7, pp. 129–188.

Brinkmann, R., 1929, Statistisch-biostratigraphische Untersuchungen an mitteljurassischen Ammoniten über Artbegriff und Stammesentwicklung: Abh. Ges. Wiss. Göttingen, N. F., vol. 13, no. 3, 249 pp.

———, 1954, Abriss der Geologie: Stuttgart, Enke, 2 vols.

Buckman, S. S., 1901, Bajocian and contiguous deposits in the North Cotteswolds: The Main Hill-mass: Geol. Soc. London, Quart. J., vol. 57, pp. 126–155.

Burch, J. Q., ed., 1945–1946, Distributional list of the West American marine mollusks from San Diego, California, to the Polar Sea: Conch. Club Sou. Calif. Minutes nos. 45–63, separately paged.

Callomon, J. H., 1955, The ammonite succession in the lower Oxford Clay and Kellaways Beds at Kidlington, Oxfordshire, and the zones of the Callovian Stage: Roy. Soc. London, Phil. Tr., s. B., vol. 239, pp. 215–264.

———, 1961, The Jurassic System in East Greenland, *in* Geology of the Arctic, G. O. Raasch, ed.: Toronto, Univ. Toronto Press, vol. 1, pp. 258–268.

Dean. W. T., Donovan, D. T., and Howarth, M. K., 1961, The Liassic ammonite zones and subzones of the North-West European Province: British Mus. (Nat. Hist.), B., Geol., vol. 4, no. 10, pp. 437–505.

Drooger, C. W., 1954, The Oligocene-Miocene boundary on both sides of the Atlantic: Geol. Mag., vol. 91, pp. 514–518.

———, 1956, Transatlantic correlation of the Oligo-Miocene by means of foraminifera: Micropaleont., vol. 2, pp. 183–192.

Dunbar, C. O., chm., 1942–1960, Correlation charts prepared by the Committee on Stratigraphy of the National Research Council: Geol. Soc. Am., B., vol. 53, pp. 429–433; Cambrian, vol. 55 (1944), pp. 993–1003; Ordovician, vol. 65 (1954), pp. 247–298; Silurian, vol. 53 (1942), pp. 533–538; Devonian, vol. 53 (1942), pp. 1729–1793; Mississippian, vol. 59 (1948), pp. 91–196; Pennsylvanian, vol. 55 (1944), pp. 657–706; Permian, vol. 71 (1960), pp. 1763–1805.

Eames, F. E., Banner, F. T., Blow, W. H., Clarke, W. J., and Cox, L. R., 1962, Fundamentals of mid-Tertiary stratigraphical correlation: Cambridge, Eng., Cambridge Univ. Press, 163 pp.

Elton, C. S., 1958, The ecology of invasions by animals and plants: London, Methuen, 181 pp.

Erben, H. K., 1956, El Jurásico inferior de México y sus amonitas: XX Int. Geol. Congress, Mexico, 393 pp.

Gignoux, M., (1950) 1955, Stratigraphic geology (trans. by G. G. Woodford): San

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M G.

Francisco, Freeman, 682 pp.
GOUDKOFF, P. P., 1945, Stratigraphic relations of Upper Cretaceous in Great Valley, California: Am. Assoc. Petroleum Geol., B., vol. 29, pp. 956–1007.
HOLMES, A., 1960, A revised geological time-scale: Edinburgh Geol. Soc. Tr., vol. 17, pp. 183–216.
HUXLEY, T. H., 1862, The anniversary address: Geol. Soc. London, Quart. J., vol. 18, pp. xl–liv.
———, 1870, Anniversary address: Geol. Soc. London, Quart. J., vol. 26, pp. xxix–lxiv.
IMLAY, R. W., 1953, Callovian (Jurassic) ammonites from the United States and Alaska: U.S. Geol. Survey Prof. Paper 249, 108 pp.
KEEN, A. M., 1958, Sea shells of tropical West America: Stanford, Calif., Stanford Univ. Press, 624 pp.
KULP, J. L., 1961, Geologic time scale: Science, vol. 133, pp. 1105–1114.
LOEBLICH, A. R., and TAPPAN, H., 1957, Correlation of the Gulf and Atlantic Coastal Plain Paleocene and Lower Eocene formations by means of planktonic foraminifera: J. Paleont., vol. 31, pp. 1109–1137.
MODEL, R., and MODEL, E., 1938, Die Lamberti-Schichten von Trockau in Oberfranken: Jahrb. preuss. geol. Landesanstalt, vol. 58, pp. 631–665.
NATLAND, M. L., 1933, The temperature- and depth-distribution of some recent and fossil foraminifera in the southern California region: Scripps Inst. Oceanog., B., Tech. Ser., vol. 3, pp. 225–230.
———, 1957, Paleoecology of West Coast Tertiary sediments: Geol. Soc. Am., Mem. 67, vol. 2, pp. 543–572.
NELSON, C. A., 1962, Lower Cambrian-Precambrian succession, White-Inyo Mountains, California: Geol. Soc. Am., B., vol. 73, pp. 139–144.
NEWELL, N. D., 1962, Paleontological gaps and geochronology: J. Paleont., vol. 36, pp. 592–610.
OPPEL, A., 1856–1858, Die Juraformation Englands, Frankreichs, und des südwestlichen Deutschlands: Stuttgart, Ebner and Seubert, 857 pp.
D'ORBIGNY, A. D., 1842–1851 (1850–1860), Paléontologie française: terrains jurassiques, céphalopodes: Paris, 642 pp.
PAYNE, M. B., 1951, Type Moreno Formation and overlying Eocene strata on the west side of the San Joaquin Valley, Fresno and Merced counties, California: California Div. Mines, Spec. Rept. 9, 29 pp.
RANGHEARD, Y., and THEOBALD, N., 1961, Nouveaux gisements fossilifères dans le Callovien moyen et supérior de Besançon-Palente: Univ. Besançon Ann. Sci., 2me sér., Géol., Fasc. 15, pp. 3–7.
SCHENCK, H. G., and KEEN, A. M., 1936, Marine molluscan provinces of western North America: Am. Phil. Soc. Pr., vol. 76, pp. 921–938.
SCHOELLHAMER, J. E., and KINNEY, D. M., 1953, Geology of portions of Tumey and Panoche Hills, Fresno County, California: U.S. Geol. Survey Oil and Gas Inv. Map 128.
SCOTT, G., 1940, Paleoecological factors controlling the distribution and mode of life of Cretaceous ammonoids in the Texas area: J. Paleont., vol. 14, pp. 299–323.
SMITH, W., 1815, A memoir to the map and delineation of the strata of England and Wales, with part of Scotland: London, J. Cary, 51 pp.
———, 1816, Strata identified by organized fossils: London, W. Arding, 32 pp.

SPATH, L. F., 1933, The evolution of the Cephalopoda: Biol. Rev., vol. 8, pp. 418–462.
STENO, N., 1669, De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus: Florence, 78 pp.
THEOBALD, N., 1957, Documents nouveaux sur l'extension des différentes zones à ammonites d'âge callovien dans le Jura septentrional: Univ. Besançon Ann. Sci., 2me sér., Géol., Fasc. 7, pp. 21–40.
ULRICH, E. O., 1911, Revision of the Paleozoic systems: Geol. Soc. Am., B., vol. 22, pp. 281–680.
WESTERMANN, G., 1954, Monographie der Otoitidae (Ammonoidea): Beihefte z. geol. Jahrb. (Hannover), no. 15, 364 pp.
WOODRING, W. P., BRAMLETTE, M. N., and KEW, W. S. W., 1946, Geology and paleontology of Palos Verdes Hills, California: U.S. Geol. Survey, Prof. Paper 207, 145 pp.

DONALD B. McINTYRE
Pomona College

Precisión y Resolución en Geocronometría

> *Probablemente hay errores de compensación y la determinación de la edad resultante será muy útil para el geólogo si, dado por caso, pudiéramos decir 9 de 10 veces que la edad es $x \pm y$ millones de años.*
> (Larsen, Keevil y Harrison, 1952, Pág. 1046).

Antiguamente se acostumbraba hacer la distinción entre las llamadas ciencias exactas e inexactas, siendo una ciencia exacta aquella que admitía, como decimos quienes pretendemos practicarla, una absoluta precisión. Actualmente somos más cautos y muchos científicos saben bien que solamente puede esperarse una precisión absoluta cuando el empeño puesto en nuestras medidas va más allá de sus limitaciones. En otras palabras, ya sea que estemos determinando la composición química, el espesor estratigráfico o la edad de una roca, con frecuencia sucede que si hacemos dos lecturas, éstas no resultarán idénticas. Admitido esto, los autores, a menudo, siguen el informe de una medición por la cuantía del más o menos, con la que se proponen indicar, de alguna manera, el grado de seguridad que debe concederse al valor dado. Desgraciadamente, el lector no siempre está informado sobre cuál es la base de la cuantía del más o menos y cuál es la seguridad que debe adjudicársele y en los casos que le proporcionan la cifra evidentemente la acepta con un gesto de despreocupación.

En este ensayo, el grado de reproductibilidad se refiere a una *precisión* y no debe confundirse con una *exactitud*, que significa la aproximación o un valor "verdadero" hipotético. Haremos la suposición de que la exactitud (o sesgo) depende de los errores sistemáticos como son el del ajuste de los instrumentos o el uso de constantes incorrectos mientras que la precisión es determinada por numerosos errores casuales pequeños e independientes.[1] La discusión de la exis-

[1] Es posible examinar la hipótesis implícita de la distribución normal, y no tenemos otra alternativa satisfactoria más que aceptarla mientras no proporcionemos datos que demuestren cómo la distribución se separa de lo normal.

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M G.

tencia y posible magnitud de los errores sistemáticos y de los errores gruesos se encuentra fuera del objeto de este ensayo.

La geología está enfilando rápidamente hacia lo cuantitativo y vale la pena llamar la atención sobre la cuidadosa presentación de los datos que debe ser en una forma que destaque con toda claridad, la precisión de la medición, pues ella determina el poder de resolución y en gran medida la utilidad del método. Aunque el tema es apropiado para cualquier medición, acontece que la geocronometría presenta ejemplos adecuados. Sin embargo, no es el propósito del autor, revisar los méritos relativos de los diferentes métodos de fechar edades, de los cuales se discuten dos, potasio-argón y plomo-alfa, y fueron escogidos como ejemplos porque han suministrado la mayoría de las fechas de las rocas de los batolitos del Mesozoico del occidente de Estados Unidos. En particular no profeso la geocronometría; mis cualidades son como las que poseen la mayoría de los miembros de la fraternidad geológica habiéndonos dedicado a esta materia por medio de nuestra literatura profesional siendo nuestra responsabilidad sacar conclusiones de la información publicada.

En 1960, el presente ensayo fue enviado a quienes profesan la geocronometría agradeciéndoles el autor las respuestas y comentarios de que ha sido objeto. Mientras tanto se han logrado considerables progresos en los estudios isotópicos surgiendo algunas dudas sobre la precisión del método plomo-alfa. No obstante, el propósito del ensayo es animar a otros lectores a sacar sus propias conclusiones de acuerdo con los datos que se les presentan, por lo que no es necesario sustituir con otros ejemplos distintos de los incluidos originalmente.

Desde la sugerencia de Rutherford en 1905, de que la acumulación de los productos del decaimiento de los minerales radiactivos podría suministrar un medio para medir el tiempo geológico, se han "fechado" un gran número de minerales y rocas. En realidad, el ritmo de producción de nuevas "fechas" ahora es tan alto que es difícil para la evaluación llevarlo al día. Muchos geólogos han renunciado al intento y están dispuestos a aceptar sin discusión cualquier correlación de edad o distinción hecha por tales métodos.

Una fecha citada para una roca no es mejor que su precisión; entonces los lectores están autorizados a esperar a que cada autor decida, en términos ambiguos, sobre su mejor evaluación cuantitativa de esta fecha. A causa de que la precisión de la edad está en función de las precisiones de cada variable que interviene en la computación, debemos comenzar por analizar los errores casuales de cada una de estas variables.

Precisión del método plomo-alfa

"Un mineral que se utiliza para determinar la edad de las rocas por este método debe tener sólo plomo radiogénico, no debe haber perdido plomo, debe tener solamente elementos radiactivos primarios y no debe haber perdido ninguno de ellos." (Larse *et al.*, 1952, Pág. 1046.) El radio iónico de Pb^{2+} (1.32 A) está muy cercano al del K^{+} (1.33) y muy diferente de aquel de Z^{4+} (0.87); entonces es razonable suponer que el plomo primario será capturado de preferencia (Goldschmidt, 1944; Gottfried, *et al.*, 1959) en la ortoclasa, considerando que el plomo encontrado en el circón probablemente es el radiogénico de los elementos padres U^{4+} (1.05) o Th^{4+} (1.10). El análisis isotópico confirma que la proporción de plomo primario en el circón, es,. a menudo, pequeña (Gottfried, *et al.*, 1959, Tabla 14), aunque existen excepciones notables. En la suposición de que el mineral ha tenido una historia que hace que el método sea válido, es necesario determinar (a) la radiactividad, por medio de un contador alfa, (b) la relación torio/uranio, la cual se considera conocida por los trabajos previos por los circones accesorios y (c) la cantidad de plomo por análisis espectrográfico.

Precisión de la determinación del plomo. En la aplicación del método para los concentrados del circón de las rocas del Mesozoico, es necesario determinar el contenido de plomo cuando varía de 1.8-180 ppm (Larsen *et al.*, 1958). Con el fin de estimar la precisión de las determinaciones de plomo, Waring y Worthing (1953) hicieron 25 mediciones repetidas (Tabla 1) sobre una muestra tipo de la que se había dicho que contenía 30 ppm de plomo en una base de sílice. Consideremos estas 25 mediciones como una *muestra* (tamaño $n = 25$) la cual es representativa de la *población* de todas las mediciones posibles. Cada medición individual se llama una *variable* x_i, $i = 1, \ldots, n$; y las *estadísticas* de las muestras son:

la *media*, $$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i = 30.4 \text{ ppm},$$

la *variancia*, $$s^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{n(n-1)}\left[n\sum x^2 - (\sum x)^2\right],$$

y la *desviación tipo*, $s = 1.82$ ppm o 6.0%.[2]

Estas definiciones están en una forma adecuada para utilizarse con calculadoras de escritorio en las cuales las sumas de x^2 y de x pueden

[2] $100\ s/\bar{x}$ es el coeficiente de variación. Es frecuentemente indicado por C pero aquí simplemente utilizaremos $s\%$ y por analogía, $\sigma\%$. La transformación está justificada si s es proporcional a $\bar{x}$; en algunas de las muestras éste puede no ser el caso.

TABLA 1. DETERMINACIONES DE PLOMO REPETIDAS VEINTICINCO VECES EN LA MUESTRA TIPO CITADA QUE CONTIENE 30 PPM

ANALISIS POR C. L. WARING Y H. WORTHING (1953)

Número de la observación i	Pb, ppm x_i	x_i^{2*}
1	31	961
2	30	900
3	33	1089
4	30	900
.	34	.
.	30	.
.	29	.
	30	
	28	
	28	
	28	
	29	
	30	
	30	
	32	
	28	
	31	
.	30	.
.	35	.
.	32	.
21	30	900
22	29	841
23	30	900
24	31	961
25	32	1024
—	—	—
$n = 25$	$\sum_{i=1}^{n} x_i = 760$	$\sum_{i=1}^{n} x_i^2 = 23184$

$$s^2 = \frac{1}{n(n-1)}\left[n\sum x^2 - (\sum x)^2\right] = 3.33,$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum x = 30.4,$$

$s = 1.82$ ppm o $1.82 \times 100/30.4 = 6.0\%$.

* En la práctica no son registradas las cifras de las columnas i y x_i^2 pues únicamente son utilizados los totales los cuales se obtienen con calculadoras de escritorio como productos accesorios de entrada de los valores de x_i.

acumularse simultáneamente. Dan las mejores estimaciones de los *parámetros*[3] de la población de las cuales se ha deducido la muestra. De la tabla preparada por Eleanor G. Crow (*en* Crow, *et al.*, 1960, Tabla 8), la desviación tipo de la población es $\sigma = 4.9$-7.9% con 90% de seguridad o 4.7-8.4% con 95% de seguridad. Esta da la medida significativa de la precisión del método.

En 1959, Gottfried, Jaffe y Senftle (1959, Tabla 8) presentaron una tabla que muestra cómo varía la precisión de la determinación del plomo (en un nivel de seguridad del 90%) con la cantidad de plomo presente. Si se traza la gráfica del porcentaje de la desviación tipo sobre un papel de semirregistro junto con los puntos medios geométricos de las variaciones del plomo dadas por estos autores, podemos estimar[4] la precisión de todas las determinaciones del plomo en circones publicadas en el U.S. Geological Survey B. 1070-B (Larsen, *et al.*, 1958, Tablas 5-11). El valor medio de las desviaciones tipo estimadas de esta manera es de 10%. Sin embargo, muchas de las fechas plomo-alfa de rocas de batolitos del Mesozoico fueron determinadas basándose en los valores promedio de varias determinaciones de plomo. En estos casos la precisión es la media $\sigma_{\bar{x}} = \sigma_x/\sqrt{n}$, en donde n es el número de determinaciones repetidas incluidas en la media. El valor medio de todas las desviaciones tipo estimadas de esta manera es de 8.8%.

Una evaluación independiente de la precisión de las determinaciones de plomo puede obtenerse de un análisis de los mismos resultados duplicados. Una estimación mancomunada de la precisión media de las determinaciones de plomo individuales, es decir, cuando se da un valor medio al peso incrementado para valores más grandes de s y de n fue calculada como s_p, en donde N es el número de muestras a las que se hicieron determinaciones repetidas y

$$s_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(n_i - 1)s_i^2}{\sum_{i=1}^{N}(n_i - 1)} = 122.8.$$

Entonces estimamos que $\sigma = 9.4$-13.6% con 90% de seguridad, lo cual es consistente para el valor de 10% obtenido en base a la aplicación de la Tabla 8 de Gottfried, Jaffe y Senftle (1959) para los datos del U.S. Geological Survey B, 1 070-B, Tablas 5-11. Por lo tanto,

[3] Es conveniente utilizar letras itálicas, tales como $\bar{x}$ y s, para las estadísticas de una muestra y utilizar letras griegas como μ y σ para los parámetros de una población. En la práctica nos interesamos en las estadísticas únicamente para estimar los parámetros.

[4] La interpretación de la Tabla 8 de Gottfried, *et al.*, (1959) es ambigua, pero el autor cree que cualquier otro método de trazado dará valores más altos para σ. Supone que 1.645σ = la precisión con 90% de seguridad.

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M.G.

adoptamos el valor de σ = 9-13% como medida tentativa[5] de la precisión de las determinaciones de plomo para la evaluación de las fechas obtenidas de las rocas de los batolitos del Mesozoico del occidente de Estados Unidos. Que este valor es razonable es confirmado más adelante por el hecho de que los análisis de plomo repetidos en los circones accesorios de los granitos del oriente de Massachusetts (Webber, *et al.*, 1956, Tabla 2) produjeron una estimación mancomunada de σ = 9.2-12.0% con 90% de seguridad (véase Tabla 2).

TABLA 2. ANALISIS DE DETERMINACIONES DE PLOMO REPETIDAS EN CIRCONES ACCESORIOS DE LOS GRANITOS DEL ORIENTE DE MASSACHUSETTS

DATOS BASADOS EN LOS DE WEBBER, HURLEY Y FAIRBAIRN, 1956

n	$\overline{Pb}$, ppm	s, ppm	s%	n	$\overline{Pb}$, ppm	s, ppm	s%
6	46.5	2.6	5.6	6	68.3	8.6	12.6
6	21.3	1.0	4.9	3	73.0	2.0	2.7
6	19.2	1.9	10.1	4	70.2	3.3	4.7
3	141.0	20.4	14.5	2	89.5	0.7	0.8
6	85.8	2.7	3.2	3	77.0	5.0	6.5
2	58.0	18.4	31.7	3	117.0	6.1	5.2
6	37.2	6.4	17.3	3	116.3	14.8	12.7
4	28.0	0.8	2.9	5	81.8	10.1	12.3
4	46.8	2.1	4.4	3	75.3	3.8	5.0
3	76.3	9.7	12.7	5	65.6	7.4	11.3
3	56.3	7.5	13.3	3	55.0	5.3	9.6
7	71.4	8.7	12.2	3	66.0	1.7	2.6

$\sum(n-1) = 75$ $\sum(n-1)s^2 = 8111.5$

$$s_p^2 = \frac{8111.5}{75} = 108.15$$

Por lo tanto, $s_p = 10.4\%$ y $\sigma = 9.2 - 12.0\%$ con 90% de seguridad.

Precisión de la relación torio/uranio. Debido a que las constantes de decaimiento de torio y uranio difieren, es necesario conocer en un mineral la relación Th/U la cual debe ser fechada por el método plomo-alfa. Muchas de las fechas obtenidas por Larsen y sus colegas de las rocas batolíticas del occidente de Estados Unidos estuvieron basadas sobre el mineral accesorio circón y éste es el caso que

[5] Después de que fue escrito este ensayo, se ha sugerido en el trabajo de Rose y Stern que puede obtenerse una mejor precisión (< 6%); pero si estos valores, publicados en el U. S. Geological Survey B. 1070-B, justifican esta seguridad tan alta, es otra cosa. Esto ilustra una de las dificultades a que habrá de enfrentarse el lector que desee evaluar las fechas publicadas.

aquí será tratado. Los datos aprovechables de la relación Th/U en el circón accesorio han sido resumidos por Gottfried, Jaffe y Senftle (1959, Tabla 1). Es interesante observar los siguientes puntos: (a) ninguno de los datos fueron publicados antes de 1957, (b) únicamente 13 "localidades" están representadas, (c) no están incluidas las rocas de los batolitos del Mesozoico del occidente de Estados Unidos, (d) fueron utilizados una variedad considerable de métodos analíticos a condición de que las precisiones mencionadas variaran desde ± 1% hasta ± 20%, (e) solamente en siete de las "localidades" fueron hechas las mediciones en más de una muestra y entonces éstas son las únicas por las cuales puede ser estimada σ y (f) el número de muestras, la variación, y el promedio son dados para estas localidades, pero s no es dado.

Debido a que los datos completos no son aprovechados para el cálculo de s, tenemos que estimarlo de la variación (véase Crow *et al.*, 1960, Tabla 12). En cuatro casos es posible referirse a los datos originales y con ellos el autor ha calculado para σ límites de seguridad de 90% (véase Tabla 3). En cada caso, los valores de la desviación tipo, calculados a partir de la variación caen dentro de estos límites. La estimación media mancomunada para Th/U es 0.78 y la media no pesada es de 0.69. Estas cifras no están de acuerdo muy estrechamente con lo que se discute: "Por ahora parece razonable asignar el valor 1 a la relación torio/uranio para el promedio del circón accesorio". (Gottfried *et al.*, 1959, Pág. 12). Si se ha utilizado una relación equivocada, es muy posible que solamente produciría un error sistemático y que las edades relativas de las rocas de una sola provincia podrían no estar afectadas. Sin embargo, es evidente, de acuerdo con la Tabla 3, que aun dentro de una simple provincia la relación torio/uranio en el circón accesorio puede variar considerablemente. De esta manera, debe estimarse la variabilidad Th/U puesto que afectará la precisión de la fecha. A causa de que 2.7 es la variación total de los 98 valores sobre los que está basada la Tabla 3, podemos estimar la desviación tipo con un valor de 0.54 el cual está conforme con la estimación mancomunada de la desviación tipo, s = 0.50, dando para σ = 0.44-0.57 con una seguridad de 90%.

Actualmente, la relación Th/U se introduce en el cálculo de la edad por medio del factor c, en donde

$$c = \frac{2632 + 624\ \mathrm{Th/U}}{1 + 0.312\ \mathrm{Th/U}}.$$

(Véase Gottfried *et al.*, 1959, Fig. 1). Hemos determinado que el valor medio de Th/U es de alrededor de 0.78 y que la desviación tipo

TABLA 3. RELACIONES Th/U EN CIRCONES ACCESORIOS

Número de muestras n_i	Variación ω	Valor medio Th/U = x_i	Estimación de s_i	$(n_i - 1)s_i^2$	90% de límites de seguridad para σ_i
1		0.8			
22	2.2	1.2	0.59	7.31	
1		1.2			
21	2.3	0.9	0.62	7.68	0.37–0.62*
24	0.8	0.5	0.21	1.01	0.16–0.26†
10	0.2	0.2	0.07	0.04	0.06–0.14†
1		0.3			
9	2.4	1.2	0.81	5.25	0.58–1.38‡
1		0.4			
1		0.5			
4	0.32	0.3	0.16	0.08	
2	0.24	0.4	0.21	0.04	
1		1.1			
—				—	
$\sum n = 98$, de donde $n_i > 1$, $\sum n = 92$, y $\mathcal{N} = 7$.				$\sum(n - 1)s^2 = 21.41$	

Combinación media para Th/U = 0.78

Combinación estimada $s_p^2 = \frac{21.41}{92-7}$; por lo tanto $s_p = 0.50\%$ y $\sigma = 0.44$–0.57 con 90% de seguridad

Variación total = 2.7; $\sum n = 98$; por lo tanto, la desviación normal puede ser estimada como 0.54

Las columnas del 1 hasta el 3 de esta tabla determinadas de los cálculos de Gottfried *et al.*, (1959). Tabla 1.

* Cifras caculadas de los datos de H. Holland (en Gottfried *et al.*, 1959).

† Cifras calculadas de los cálculos de Hurley y Fairbairn (1957).

‡ Cifras tomadas de los cálculos de Lyons *et al.*, (1957).

de los valores posibles de esta relación está cercana probablemente a 0.50. Entonces una variación de Th/U de $\pm\ \sigma$ sería de 0.28-1.28 dando para c una variación continua de 2581 a 2452. Entonces σ para el factor c, puede estimarse aproximadamente en 2.6% o casi 3%.

Precisión en la medición de radiaciones alfa. La radiactividad es medida por el método de la cámara de ionización y se obtiene de acuerdo con el número de cuentas alfa por miligramo por hora. Gottfried, Jaffe y Senftle (1959, Pág. 22) informan: "...la actividad determinada por los métodos de conteo está conforme con el promedio del 5% para la actividad alfa calculada del contenido de torio y uranio... En general, las comprobaciones de laboratorio se encuentran dentro de este 5%. De las comprobaciones mencionadas

y también de la experiencia de las cuentas alfa, en éste y en otros laboratorios son exactos los datos de las cuentas alfa, probablemente dentro del 5%". Lyons y otros (1957, Pág. 528) ha dejado registrada su precisión en este enunciado: "Las mediciones duplicadas de la actividad alfa en la misma muestra son reproducibles dentro del 5% del valor medido". Webber, Hurley y Fairbairn (1956, Tabla 3) han dado cifras para "el error de precisión de la desviación tipo, basada en las repetidas cuentas alfa"; sus datos así publicados produjeron un valor medio, $s\%$ de 7.8 con σ = 6.4-10.1% con 90% de seguridad. Por lo tanto, nuestra conclusión debe ser vaga con σ para la determinación de alfa, seguramente, en alguna parte, en la variación de 3-10%.

Precisión resultante de la determinación de la edad. Si la edad es menor de 200 millones de años (m.a.), es que se determinó por la ecuación $t = (c.\ \mathrm{Pb})/\alpha$, donde t es la edad en millones de años, c es el factor que depende de la relación Th/U, Pb es contenido de plomo en partes por millón y α es la radiactividad en cuentas alfa por miligramo por hora. Si los errores parciales en t debidos a errores dados en c, Pb y α son E_c E_{Pb} y E_α, respectivamente, entonces el error total en t es $E_t = E_c + E_{\mathrm{Pb}} + E_\alpha$. En la práctica sabemos solamente de las distribuciones de la probabilidad de estos errores parciales y no de sus valores reales. De esta manera, aunque es cierto que el error total es la suma de los errores parciales, los parámetros de la distribución de la probabilidad de t no pueden ser obtenidos por la suma de los parámetros de las distribuciones de la probabilidad de las variables individuales; es decir, $\sigma_t \neq \sigma_c + \sigma_{\mathrm{Pb}} + \sigma_\alpha$. Cuando hacemos una determinación de edad lo que en realidad ocurre es que estamos eligiendo, por casualidad, las magnitudes de los errores en c, en Pb y en α para después sumar sus efectos. Suponiendo que no hay correlación alguna entre E_c, E_{Pb} y E_α, es decir, que no hay razón para esperar que un error grande particularmente en c ocurra junto con un error grande particularmente en α o Pb, tenemos entonces que $\sigma_t^2 = \sigma_c^2 + \sigma_{\mathrm{Pb}}^2 + \sigma_\alpha^2$.[6] (Si la suposición no es correcta, en tal caso deben ser determinados los coeficientes de correlación y utilizados para derivar σ_t^2.) Como consecuencia de esta relación, si σ_{Pb} es considerablemente más grande que σ_c o σ_α, como puede ser el caso, entonces σ_t será solamente un poco más grande que σ_{Pb}. Utilizando las mejores estimaciones de las que hemos derivado arriba, obtenemos

$$\sigma_{\mathrm{Pb}} \sim 9\text{–}13\%, \qquad \sigma_\alpha \sim 3\text{–}10\%, \qquad \sigma_c \sim 3\%.$$

[6] Una razón para el uso común de las desviaciones tipo es que sus unidades pueden ser las de las observaciones originales. Pero en la práctica hay ventaja cuando son utilizadas las variancias; la aditividad a que se hace referencia aquí es una de ellas.

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M G.

Entonces, la precisión predicha de las fechas sobre las rocas de los batolitos del Mesozoico por el método plomo-alfa es $\sigma \sim 10.0$-16.7% o alrededor de 9.8-3.6% si se hace la concesión para las determinaciones repetidas del plomo.

Las precisiones observadas (basadas en Larsen *et al.*, 1958, Tabla 12) son como sigue:

n		$s\%$	σ, 90%-Límites de seguridad
35	México y sur de California	10.3	8.6–12.9
15	Sierra Nevada	10.8	8.3–15.7
16[7]	Idaho	11.1	8.6–16.0
16	Cordillera Costera	12.4	9.6–17.8
82	Los 82 especímenes se tomaron juntos	11.2	9.9–12.9

Entonces concluimos que (a) las precisiones observadas y predichas son las mismas, dentro de los límites impuestos por los datos que nos son útiles y (b) los 82 especímenes de los batolitos del Mesozoico del occidente de Estados Unidos son de la misma edad dentro de los límites del método.

Del trabajo realizado sobre el circón accesorio de los granitos del oriente de Massachusetts, Webber, Hurley y Fairbairn (1956, Tabla 4) establecieron "errores de precisión de la desviación tipo" para las edades determinadas. Con sus datos estimaron que $\sigma = 7.7$-12.3% con un 90% de seguridad.

Método del potasio-argón

El método del potasio-argón se basa en la suposición de que todo el potasio en la naturaleza contiene el mismo porcentaje de K^{40} radiactivo y que, además, el mineral puede ser fechado sin haber ganado ni perdido potasio o cualquier Ar^{40} radiogénico desde su cristalización. El método y la historia de su desarrollo han sido bosquejados por Carr y Kulp (1957) y por Lipson (1958) y las posibles fuentes del error sistemático han sido discutidas por Curtis, Evernden y Lipson (1958), Curtis y Reynolds (1958) y por Gentner y Kley (1958).

La fuente de la máxima dificultad práctica encontrada en este método es que el 99.6% del argón atmosférico es A^{40}, cantidad idéntica a la de la pequeña de argón radiogénico que ha sido extraída del mineral y la que ha sido medida. Entonces el A^{38} y el A^{36}, forman juntos solamente los 0.4% del argón atmosférico y constituyen los

[7] Dado incorrectamente en *loc. cit.*

únicos medios para determinar la cantidad de contaminación por el argón atmosférico. En la práctica un "portador" de A^{38} puro se añade a la muestra como un trazador isotópico y las relaciones A^{40}/A^{38} y A^{38}/A^{36} son medidas con el espectrómetro de masas.

El total del potasio es determinado generalmente por fotometría de llama calculándose entonces, la cantidad de K^{40} utilizando la cifra 0.000119 como la fracción atómica de K^{40} en potasio y 39.100 como el peso atómico.

Precisión de la relación radiogénica Ar^{40}/K^{40}. El autor ha encontrado una gran dificultad al descubrir en los enunciados de algunos autores lo que desean dar a entender en relación a la precisión. Unos utilizan la desviación tipo o explícitamente el error probable ($\sigma = 1.4826 \times \text{PE}$), aunque otros, al referirse vagamente al "error máximo" no hacen una clara distinción entre precisión y exactitud o bien formulan enunciados tales como "las mediciones duplicadas generalmente son reproducibles dentro del $p\%$". Con frecuencia no se establece el número de determinaciones y las variaciones. En muchos casos es patente que los autores tienen datos de los cuales pueden obtenerse medidas útiles de la precisión. Por no compartir sus conocimientos con sus lectores han disminuido el valor de su trabajo, pues no pueden deducirse consecuencias seguras a menos que sea reconocida la precisión.

Un enunciado explícito relacionado con la precisión nos lo proporciona Lipson (1958, Pág. 144):

> La relación Ar^{40}/K^{40} puede calcularse ahora con un error probable de 5 a 7% dependiendo del porcentaje de argón atmosférico en la muestra. El error probable total surge de un error probable de 3% en la determinación del potasio y un error probable de 4% en la determinación del argón radiogénico exceptuado de error en la corrección del argón atmosférico. El error en la determinación de la relación de abundancia A^{36}/A^{40} se toma como el 3%, pero el efecto de este error sobre la determinación del argón radiogénico varía con el porcentaje del argón atmosférico. Si tenemos:
>
> $e =$ error en porcentaje en A^{36}/A^{40}
> $f =$ porcentaje de argón atmosférico en la muestra.
> $E =$ error en porcentaje en el argón radiogénico debido al error en A^{36}/A^{40}
>
> entonces

$$E = \frac{ef}{100 - f}.$$

Al aplicarse esta ecuación, utilizando los porcentajes de argón atmosférico tabulados para cada muestra, puede calcularse el error probable.

Si el porcentaje de argón atmosférico está arriba de 50, entonces, como consecuencia de la relación citada, el error en Ar^{40}/K^{40} aumenta rápidamente. Desgraciadamente, el porcentaje de argón atmosférico no siempre es establecido, y no solamente es raro, sino imposible decir dónde ha sido incluido este error en la precisión dada por la relación A^{40}/K^{40}. Gentner, Jensen y Mehnert (1954) informan haber encontrado de 10-15% de argón atmosférico en la determinación de un feldespato de una pegmatita de la Selva Negra. Tal porcentaje da un error de solamente $\sigma = 0.5\text{-}0.8\%$ en la relación Ar^{40}/K^{40}. Por otro lado para las 10 glauconitas de Nueva Zelanda fechadas por Lipson (1958), el argón atmosférico varió de 37 a 68% correspondiendo una variación en precisión para Ar^{40}/K^{40} de $\sigma = 2.6\text{-}9.5\%$. En el fecheo de 10 rocas graníticas de Yosemite (Curtis, Evernden y Lipson, 1958), la variación en el porcentaje de argón atmosférico fue de 8.5-63.2 el cual corresponde a una variación de precisión para la relación Ar^{40}/K^{40} de $\sigma = 0.4\text{-}7.6\%$. Sin embargo, refiriéndose a los análisis de Yosemite, Evernden, Curtis y Lipson (1957, Págs. 2120-2121) escribieron:

> Al mayor error en nuestra técnica le concierne la absoluta calibración del portador argón 38 utilizada para la dilución del isótopo. Este error de calibración da lugar a un error probable de 2 o 3%. Sin embargo, debe enfatizarse que, con el procedimiento de la preparación del portador que ahora se está utilizando, las cantidades del portador argón 38 son conocidas en relación una a la otra, hasta menos del 1%. Esto es creíble, si el error introducido por incertidumbre en la constante de la calibración absoluta del portador es insignificante y que la técnica analítica tiene un error inherente de menos de 1.5%. Series repetidas sobre fracciones separadas de concentrados de biotita justifican esta conclusión.

No se proporcionan datos de las comprobaciones de esta reproductibilidad. Las fechas de Yosemite son establecidas como $\pm$ 1 a 2%. Con referencia a las mismas rocas, Curtis, Evernden y Lipson (1958) expresan que, para los análisis de potasio, si las determinaciones duplicadas no se verifican dentro del 1.5%, deben ser rechazadas. Sin embargo, esto no nos explica cuál es la precisión de un análisis de potasio. Puede mejorarse la precisión perfeccionando el método o aumentando el número de determinaciones repetidas y su mejoramiento no depende del rechazo de valores supuestamente extremosos (Véase por ejemplo a Crow, *et al.*, 1960, Tabla 16).

En 1954, Wasserburg (en Faul, 1954, Pág. 342) escribió: "Puesto que las relaciones argón^{40}: potasio^{40} pueden determinarse dentro del 4% de error, existe la posibilidad de resolver lo relativo a las edades de las intrusiones del Paleozoico separadas por un periodo geológico". Si 4% es el error probable entonces $\sigma = 6\%$. En 1956, Folinsbee, Lipson y Reynolds (1956, Tabla I) le conceden a la relación A^{40}/K^{40} tanto como $\pm$ 5% aunque no demostraron cómo fue derivada esta cifra. Entonces, probablemente $\sigma = 7.5\%$. Aldrich, *et. al.*, (1956, Pág. 217) emitieron el siguiente enunciado: "De la reproductibilidad de los resultados por los dos métodos se cree que el error en los análisis del potasio es 5% o menos. De las determinaciones del argón en el aire y en los minerales se cree que la exactitud de las mismas sea de un 3%. Se confía que el error en la relación A^{40}/K^{40} sea menor del 6%", por lo que probablemente $\sigma < 9\%$. Carr y Kulp (1957, Pág. 777) informan: "Las numerosas series repetidas del mismo poder demuestran que la reproductibilidad en la determinación de A^{40} yace en la variación de $\pm$ 1-3% en muchos casos. Puesto que ésta es también la variación de los análisis de potasio repetidos, el error analítico en la relación A^{40}/K^{40} probablemente no excede del 5%".

Con referencia al fecheo de las rocas del basamento de la Selva Negra, Gentner y Kley (1958, Pág. 103) dan los siguientes valores para los errores no sistemáticos: análisis de potasio de 1-2%; determinaciones de argón 2%, corrección de argón atmosférico 1-2%. Si estas cifras indican errores probables, entonces σ Ar^{40}/K^{40} está en la variación de 3.6-5.1%. Estos autores expresan también (Pág. 103) que las mediciones individuales pueden fluctuar a través de un máximo de $\pm$ 10% en una escala del tiempo relativa. Aun cuando el "máximo" se proponga "con un 95% de probabilidad" podemos, entonces, concluir que $\sigma Ar^{40}/K^{40}$ es de alrededor de 5.1% mientras que si se propone "con un 99% de probabilidad" entonces σ se acerca al 3.9%.

Estos ejemplos son suficientes para indicar lo difícil que es determinar, con apoyo en la literatura, la desviación tipo que debe aceptarse para la relación del radiogénico Ar^{40}/K^{40} de la que puede depender la edad de una roca. La conclusión evidente es que los autores deberían estar seguros de que sus lectores saben exactamente el significado de la precisión establecida, en que está basada y qué tanta seguridad debe concedérsele. El autor sugiere que mientras no se aclaren estos puntos, se adopten las siguientes precisiones teóricas más razonables para los propósitos de evaluación:

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA - MG

	$\sigma\%$
Análisis del potasio	3–6
Determinación de argón total	3–6
Corrección por argón atmosférico	0.5–8
Calibración del portador	1.5

Suponiendo que no hay correlación entre estos errores encontramos que la precisión en la variación es $\sigma = 4.5\text{-}11.8\%$. Es de lamentarse que este parámetro tan importante no sea mejor conocido.

Precisión resultante de la edad potasio-argón. El K^{40} decae al Ca^{40} de acuerdo con una constante que es designada por λ_β y también decae a A^{40} con una constante λ_K (algunas veces se expresa como λ_e). La relación entre estas dos constantes λ_K/λ_β se llama R, la relación de ramificación. El ritmo total de decaimiento de K^{40} es dado por $\lambda = \lambda_K + \lambda_\beta$. La conversión de K^{40} a Ca^{40} es acompañada por emisión de rayos β (electrones) que son fácilmente descubiertos por lo que λ_β es bien conocida. Por otro lado, la conversión de K^{40} a A^{40} se efectúa dentro de los núcleos por la transformación de un protón en un neutrón debido a la captura de uno de los electrones de la órbita del K. En el reordenamiento consecuente de los electrones restantes, necesario para que sea ocupado el vacío de la órbita del K, hay una emisión de rayos X de baja energía, que es la característica de la radiación K del potasio. De esta manera λ_K puede determinarse sólo indirectamente y la incertidumbre en el valor de esta constante es una de las mayores fuentes del error sistemático del método en nuestra época. Gentner y Kley (1958) sostienen que mientras λ, la constante de desintegración total de K^{40}, oscila entre 3 a 4%, la relación de ramificación, R, puede existir con un error hasta del 10%.

Sin embargo, los errores cualesquiera en las constantes no afectarán las mediciones de edad relativa a condición de que los mismos valores sean utilizados en todas las determinaciones. A causa de que tomamos como un ejemplo las rocas graníticas de Yosemite de las que han informado Evernden, Curtis y Lipson (1957) y por Curtis, Evernden y Lipson (1958), adoptamos los valores utilizados por estos autores:

$$\lambda_\beta = 0.472 \times 10^{-9}\ \text{yr}^{-1},$$
$$\lambda_K = 0.557 \times 10^{-10}\ \text{yr}^{-1},$$
$$R = 0.118,$$
$$\lambda = 0.528 \times 10^{-9}\ \text{yr}^{-1}.$$

Ahora bien, la ecuación utilizada para calcular la edad de un mineral de potasio es:

$$T = \frac{1}{\lambda} \ln\left[1 + \frac{A_r^{40}}{K^{40}} \frac{1+R}{R}\right],$$

en donde T es la edad en años. Tomando a $x = Ar^{40}/K^{40}$ y t = edad en millones de años, tenemos $dt/dx = 2.12/(0.118 + 1.118x)$ millones de años por 10^{-3} unidades de Ar^{40}/K^{40}. Aun después de 100 m.a., Ar^{40}/K^{40} todavía es menor que 0.006 y de esta manera los cambios en el gradiente son sumamente lentos con el aumento de la edad. Un error de 1% en Ar^{40}/K^{40} produce casi el mismo error en la edad si la roca es menor que 200 m.a. de antigüedad. Si la roca es más antigua que 800 m.a., entonces el error producido en la edad es apreciablemente menor que el error en Ar^{40}/K^{40}. De esta manera, a menos que estemos tratando con rocas del Precámbrico, o que la precisión sea conocida con gran seguridad, puede suponerse que el error del porcentaje dado en Ar^{40}/K^{40} producirá casi el mismo error de porcentaje en la edad.

Si se repiten las determinaciones de la edad en una o más rocas, entonces los resultados pueden proporcionar un valor para la "precisión observada" de la edad, la cual puede compararse con la "precisión teórica" determinada de la consideración de las técnicas analíticas. Entonces aparece que los datos sobre un conjunto de rocas de la Selva Negra (Mehnert, 1958) puede utilizarse de esta manera, pero resulta desafortunado que los experimentos no hayan sido emprendidos teniendo en cuenta esta meta, específicamente. Se colectaron catorce especímenes de las rocas del basamento de la Selva Negra y de algunas de éstas, fueron separados los feldespatos y las micas de tal manera que fueron útiles 19 preparaciones para el fecheo de las que se hicieron un total de 66 determinaciones. En cuanto a la finalidad que perseguimos, nos concierne únicamente el grado de reproductibilidad. En la Tabla 4 se presenta un análisis de los datos de Mehnert. Para cada preparación calculamos la desviación tipo como un porcentaje de las edades medias de tal manera que el efecto de la variación puede ser eliminado de las mismas. La estimación mancomunada de la desviación tipo es $s_p = 10.8\%$ con $\sigma_t = 9.0 - 13.5\%$ con un 95% de seguridad, el cual es comparado con la precisión predicha de $\sigma_t = 4.5 - 12\%$. Si son verdaderamente repetidos los análisis de Mehnert, parecería razonable suponer que la precisión de las determinaciones de la edad por el método potasio-argón podría ser hasta $\sigma_p = 10\%$.

Deducción estadística

Distribuciones de muestreos. Si una muestra casual de tamaño n es tomada de una población normal con una media μ_x y una desviación tipo σ_x, entonces, en general, la media de la muestra es $\bar{x} \neq \mu_x$. Pero el número posible de muestras de tamaño n que se podrían sacar de la población, puede ser grande y la asociación de todas estas posibles muestras forman una población de segundo orden cuyos parámetros son afines con los de la población original, en la forma siguiente:

$$\text{el valor medio de } \bar{x} = \mu_{\bar{x}} = \mu_x$$

$$\text{la desviación tipo de la distribución de muestreo}$$

$$(\text{error tipo de } \bar{x}) = \sigma_{\bar{x}} = \sigma_x/\sqrt{n}$$

Por ejemplo, supongamos que sacamos una muestra de tamaño 10 de una población de 100 individuos con $\mu_x = 12$ y $\sigma_x = 4$. Nuestra muestra está más allá de $100!/(10! \times 90!)$ o sea que las muestras

TABLA 4. DETERMINACIONES REPETIDAS DE LA EDAD EN 19 ROCAS Y MINERALES DE LA SELVA NEGRA POR EL METODO POTASIO-ARGON BASADAS EN DATOS PUBLICADOS POR MEHNERT, 1958

Número de determinaciones	Edad media	$s\%$
5	249	2.0
2	254	0.3
3	243	2.4
3	268	2.6
5	253	4.5
3	269	3.5
4	287	1.6
5	241	16.1
3	273	0.9
2	306	0.1
3	303	3.8
3	280	2.7
2	260	1.1
6	256	25.5
5	278	15.1
3	344	2.4
3	304	1.3
3	283	1.5
3	310	6.6

Por lo tanto, $s_p = 10.8\%$ y $\sigma = 9.0$–13.5% con 95% de seguridad.

posibles son más de 10^{13}. La media de esta distribución de muestreo (población de muestras) es $\mu_{\bar{x}} = 12$ y su desviación tipo (error tipo) es $\sigma_{\bar{x}} = 4/\sqrt{10} = 1.26$. Asimismo, si la desviación tipo s es determinada por todas las muestras posibles de tamaño n, entonces la desviación tipo (error tipo) de esta distribución de muestreo es $\sigma_s = \sigma_x/\sqrt{2n}$. Para el ejemplo dado, deberíamos esperar que las desviaciones tipo de muestras de tamaño 10 tengan una distribución con una media de $\mu_s = \sigma_x = 4$ y una desviación tipo de

$$\sigma_s = 4/\sqrt{20} = 0.9$$

Supongamos que tenemos dos poblaciones definidas por los parámetros μ_x y σ_x y μ_y y σ_y respectivamente y de las que sacamos un par de variables, una de cada población y tomamos la diferencia $(x - y)$. Si continuamos sacando pares hasta que hayamos determinado todos los valores posibles de $(x - y)$, entonces tendríamos una población de segundo orden (distribución de muestreo) con parámetros

$$\mu_{x-y} = \mu_x - \mu_y \qquad \text{y} \qquad \sigma^2_{x-y} = \sigma^2_x + \sigma^2_y,$$

con tal que no haya correlación entre los miembros de los pares. De esta manera si

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma, \qquad \text{entonces} \qquad \sigma_{x-y} = \sigma\sqrt{2}.$$

Si nos interesan las diferencias entre las medias en vez de entre las variables tenemos entonces

$$\mu_{\bar{x}-\bar{y}} = \mu_{\bar{x}} - \mu_{\bar{y}},$$

$$\sigma^2_{\bar{x}-\bar{y}} = \sigma^2_{\bar{x}} + \sigma^2_{\bar{y}} = \frac{\sigma^2_x}{n_1} + \frac{\sigma^2_y}{n_2}$$

$$= \sigma^2\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right), \qquad \text{si} \quad \sigma_x = \sigma_y = \sigma,$$

$$= \frac{2\sigma^2}{n}, \qquad \text{si, en adición,} \quad n_1 = n_2 = n.$$

Valor crítico. Supongamos que ya sea conocida la precisión del análisis químico de un elemento y que es dada por σ y además, supongamos que la distribución de los numerosos análisis repetidos produjeron una curva normal con una media μ_0 y una desviación tipo σ (Fig. 1). Debido a que encontramos, de las tablas de las áreas situadas en la parte inferior de la curva normal, que el 95% de la distribución yace entre -1.960σ y $+1.960\sigma$, la probabilidad es únicamente de 0.05 de que una sola determinación caerá fuera de la variación $\mu_0 \pm 1.960\sigma$. En efecto, con 95% de seguridad rechazamos la hipótesis en la que una determinación fuera de esta variación

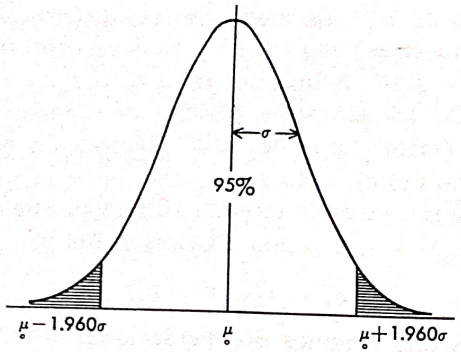


FIG. 1. Si la precisión de un método analítico está dada por σ, tenemos el 95% de seguridad de que una sola determinación no diferirá de la media, μ_0, no más de $\pm 1.960\sigma$

pertenece a esta población. Ahora bien, en este nivel de seguridad, 5 menos del 100% nos equivocaremos y rechazaremos una medición erróneamente, alegando que no pertenece a la población cuando que de hecho pertenece a ella lo cual descubriríamos si hiciéramos más determinaciones. El error de rechazar la hipótesis nula cuando de hecho es verdadera se llama error tipo I o error de productor pues cuando se comete se rechaza una muestra perfectamente "buena". En nuestro ejemplo la oportunidad de cometer un error tipo I es $\alpha = 0.05$ el cual se llama nivel de significación. Después de esto puede ser que el costo de producción de cada medición sea muy alto o puede suceder que otras consecuencias, como las de cometer este error, sean tales, que no podamos permitirnos rechazar tan alto porcentaje de buenas determinaciones. Si esto es así, podemos disminuir el área de rechazo crítica, digamos fijando un valor a $\alpha = 0.01$ con 0.005 en cada extremo de la distribución o aun menos. De las tablas de porcentajes de la distribución normal encontramos los siguientes:

Probabilidad de cometer el error Tipo I	Valor crítico para $\lvert\bar{x} - \mu_0\rvert$
0.10	$1.645\sigma/\sqrt{n}$
0.05	$1.960\sigma/\sqrt{n}$
0.01	$2.576\sigma/\sqrt{n}$
0.001	$3.291\sigma/\sqrt{n}$

Podemos también hacer uso de estas relaciones de la siguiente manera: si hemos determinado a $\bar{x}$ de una muestra de tamaño n y ya conocemos a σ, entonces podemos establecer límites de seguridad para la media μ_0 de la población a la que pertenece $\bar{x}$. Por ejemplo, con 95% de seguridad podemos decir[8] que $\mu_0 = \bar{x} \pm 1.960\sigma/\sqrt{n}$. Alternativamente, el tamaño de la muestra requerido para especificar μ_0 hasta la variación $\pm h$ con 95% de seguridad es $n = (1.960\sigma/h)^2$.

Resolución. Hemos visto que siempre podemos aminorar la probabilidad de cometer un error tipo I (es decir, sostenemos que la hipótesis nula es falsa cuando realmente es verdadera) simplemente al disminuir el área de rechazo α. Esto es cierto aun cuando el tamaño de la muestra sea tan pequeño como dos. Cualquiera que sea el valor que decidamos darle a α, calculamos el valor crítico y acordamos rechazar la hipótesis nula si $|x - \mu_0|$ es más grande que ésta. Ahora bien, evidentemente mientras más pequeña hagamos a α (para evitar errores tipo I) lo más probable será que aceptemos la hipótesis nula cuando entonces es falsa. Este sería un error tipo II y la probabilidad de cometerlo es dada por β (Fig. 2). Entonces vemos que aunque $|\mu_1 - \mu_0|$ es más grande que nuestro valor crítico, la probabilidad de tolerar esta diferencia es β. A este error a menudo se

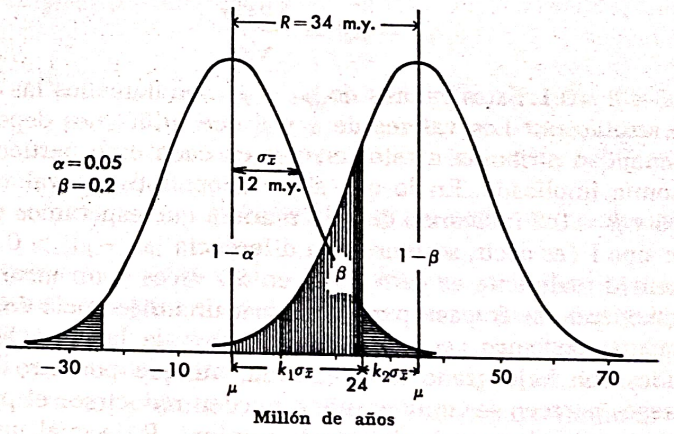


FIG. 2. α es la probabilidad de que rechazaremos, por error, la hipótesis nula de que la muestra media pertenece a la población μ_0 debido a que es más grande que $\mu_0 + h$ o menor que $\mu_0 - h$. $(1 - \alpha)$ 100% es nuestra seguridad de que no cometeremos este error. β es la probabilidad de que aceptaremos, por error, la hipótesis nula de que una muestra media pertenece a la población μ_0 debido a que es menor que $\mu_0 + h$, cuando una hipótesis alternativa, a saber la de que la media muestra que pertenece a la población μ_1, es cierto. $(1 - \beta)$ 100% es nuestra seguridad de que evitaremos este error. El diagrama se ha trazado con $\alpha = 0.05$ y $\beta = 0.2$

[8] Si σ no fuese conocido utilizaríamos la distribución t (véase, por ejemplo, Crow *et al.*, 1960, Pág. 47).

le llama error de consumidor pues resultará de la aceptación de mediciones que deben ser rechazadas. Nuestra seguridad para evitar este error es $1 - \beta$ y es el *poder* de la comprobación. Evidentemente β y, por lo tanto, el poder dependen de $|\mu_1 - \mu_0|$, σ, n y α. Si son dadas cuatro de estas variables, entonces puede fijarse la quinta. Supongamos que σ y n son dadas y a α se le ha asignado el valor 0.05 de tal manera que el valor crítico para el rechazo es $k_1\sigma_{\bar{x}} = 1.960\sigma/\sqrt{n}$. Es claro que β debe ser mucho más grande que α a menos que $|\mu_1 - \mu_0|$ alcance un valor extremo. Supongamos que β no exceda a 0.2, entonces, de las tablas de la curva normal,

$$k_2\sigma_{\bar{x}} = \frac{0.842\sigma}{\sqrt{n}}.$$

Entonces

$$|\mu_1 - \mu_0| = \frac{2.802\sigma}{\sqrt{n}}$$

para $\alpha = 0.05$ y $\beta = 0.2$. Asimismo para

$$|\mu_1 - \mu_0| = \frac{3.242\sigma}{\sqrt{n}}$$

$\alpha = 0.05$ y $\beta = 0.1$. Estos valores de $|\mu_1 - \mu_0|$ son llamados las *diferencias de resolución*.[9] Los valores de α y β que utilicemos dependerán de la penalidad atribuida a estos errores en cada caso particular y a la economía implicada. En lo que sigue adoptamos los valores para $\alpha = 0.05$ y $\beta = 0.2$ indicando de esta manera que esperamos cometer un error tipo I (es decir, sostener una diferencia $|\mu_1 - \mu_0| > 0$ cuando la diferencia realmente es cero) una en 20 veces y un error tipo II (es decir cuando se fracasa para descubrir una diferencia real $|\mu_1 - \mu_0| > 0$) una en cinco veces. Realmente no vale la pena formular enunciados con bajo grado de seguridad, aunque por otro lado, si estos riesgos parecen ser muy grandes, pueden reducirse: el precio es un valor aumentado para la diferencia mínima, R, la cual puede ser resuelta y esta penalidad pude evitarse únicamente por el mejoramiento de la precisión de las mediciones individuales (de este modo se reduce σ) o incrementando a n, el tamaño de las muestras utilizadas para determinar a $\bar{x}$.

Resumiendo estas conclusiones podemos hacer dos siguientes enunciados:

(1) Con 80% de seguridad, podemos sostener que si $|\mu_1 - \mu_0|$ excede a $2.802\sigma/\sqrt{n}$ esto lo descubriremos en el nivel de significación de 0.05.

[9] La analogía con el poder de resolución de un sistema óptico será obvio.

(2) Con 95% de seguridad podemos sostener que si $|\bar{x} - \mu_0|$ excede a $1.960\sigma/\sqrt{n}$ entonces $\mu_1 \neq \mu_0$.
(3) El número de variables que deben incluirse en cada muestra con el fin de establecer un grado de resolución dado es $= (2.802\sigma/R)^2$.

En geocronometría, por lo general, tenemos datos de dos muestras y deseamos saber cuál de las dos poblaciones de las que fueron sacadas tienen una media común. Por ejemplo, dos muestras son analizadas para potasio: el número de determinaciones repetidas hechas a la primera es n_1 y a la segunda es n_2; las medias respectivas son $\bar{x}$ y $\bar{y}$. Supongamos que la precisión para el método ya está establecida de tal manera que $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$ la cual es conocida. Entonces tenemos los siguientes resultados:

Para $|\mu_x - \mu_y|$:

$$\text{Resolución, } R = 2.802\sigma\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)^{1/2} = 3.963\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{si} \quad n_1 = n_2 = n;$$

para $|\bar{x} - \bar{y}|$:

$$\text{Valor crítico} = 1.960\sigma\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)^{1/2} = 2.772\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{si} \quad n_1 = n_2 = n;$$

y

$$n = \left(\frac{3.963\sigma}{R}\right)^2 \quad \text{para establecer un poder de resolución dado.}$$

Estos valores utilizados en la comprobación de la hipótesis $|\mu_1 - \mu_2| = 0$ son mayores para el factor $\sqrt{2}$ que los valores comparables para la hipótesis $|\mu_1 - \mu_0| = 0$. La razón es que mientras μ_0 fue dado, ni μ_1, ni μ_2 son conocidos.

Por lo tanto, podemos establecer criterios para formular decisiones como sigue. Si μ_0 y $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$ son conocidos, pero μ_1 y μ_2 son desconocidos, entonces (1) con 100 $(1 - \beta)$ % de seguridad, podemos sostener que si una diferencia excede a la resolución descubriremos esto en el nivel de significación.

$100(1-\beta)\%$	Diferencia	Resolución	α
80	$\lvert\mu_1 - \mu_0\rvert$	$2.802\sigma/\sqrt{n}$	0.05
80	$\lvert\mu_1 - \mu_2\rvert$	$3.963\sigma/\sqrt{n}$	0.05
90	$\lvert\mu_1 - \mu_0\rvert$	$3.858\sigma/\sqrt{n}$	0.01
90	$\lvert\mu_1 - \mu_2\rvert$	$5.456\sigma/\sqrt{n}$	0.01

(2) con 100 $(1 - \alpha)$ % de seguridad podemos sostener que si una diferencia excede al valor crítico para el rechazo, entonces $\mu_1 \neq a$:

$100(1-\alpha)\%$	Diferencia	Valor crítico	a
95	$\lvert\bar{x} - \mu_0\rvert$	$1.960\sigma/\sqrt{n}$	μ_0
95	$\lvert\bar{x} - \bar{y}\rvert$	$2.772\sigma/\sqrt{n}$ o $1.960\sigma\left(\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}\right)^{1/2}$	μ_2
99	$\lvert\bar{x} - \mu_0\rvert$	$2.576\sigma/\sqrt{n}$	μ_0
99	$\lvert\bar{x} - \bar{y}\rvert$	$3.643\sigma/\sqrt{n}$ o $2.576\sigma\left(\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}\right)^{1/2}$	μ_2

Ejemplos

Supongamos que tenemos dos rocas que han sido seleccionadas porque reúnen las especificaciones que las hacen idóneas para fechar la edad radiactiva. Si se hace una sola determinación de cada una, y si estamos entonces en condiciones de obtener un 80% de seguridad y la capacidad de distinguir entre ellas los 0.05 del nivel de significación, la diferencia habrá excedido a 3.963σ; al parecer, ésta, en alguna parte está entre 43% y 66% para las edades plomo-alfa y entre 18% y 48% para las de K-A. Estas son cifras burdas, pero evidentemente son nuestras mejores estimaciones para los poderes de resolución corriente de los métodos. Indudablemente se espera que las mediciones más confiables de la resolución pronto serán aprovechables y para aquel entonces el lector pueda mantener al día las conclusiones presentadas aquí.

Supóngase ahora que sólo se ha hecho una determinación de edad en cada una de las dos rocas. En tal caso podemos decir con un 95% de seguridad que hay verdaderamente una diferencia entre sus edades reales si la diferencia observada entre las dos determinaciones excede a 2.772σ, esto es, según parece, para las edades plomo-alfa de 30 a 46% y para la de K-A de 12 a 33%. Si estas dos determinaciones representan la edad media de cuatro mediciones repetidas,[10] entonces el valor crítico equivale a la mitad. Debe notarse la posibilidad de descubrir una diferencia que es más pequeña que la resolución, pero la confianza, *a priori*, en nuestra capacidad es menor del 80%; por cierto que podemos "descubrir" una diferencia la cual realmente es cero, pero así cometemos un error tipo I.

La edad media de 11 especímenes de tonalita del batolito del sur de California es de 114 m.a., mientras que la edad media de 7

[10] Indudablemente existe un límite práctico hasta el cual podemos extender nuestro esfuerzo para mejorar la precisión de un método por el aumento del número de lecturas repetidas.

especímenes de granodiorita del mismo complejo plutónico es de 105 m.a. (Larsen *et al.*, 1958, Tablas 6 y 7). Si tomamos $\sigma = 10\%$ entonces $\sigma_{t1} - \sigma_{t2} = 10(1/11 + 1/7)^{1/2} = 4.8\%$. Por lo tanto, la resolución es $2.80 \times 4.8 = 13.5\%$ o casi 15 m.a. El valor crítico es $1.96 \times 4.8 = 9.5\%$ o casi 10.5 m.a. De esta manera concluimos que si existe cualquier diferencia entre las edades medias reales de las tonalitas y granodioritas en el batolito de sur de California, entonces, con 80% de seguridad la diferencia es menor que 15 m.a.

De todos los batolitos del Mesozoico del occidente de Estados Unidos que han sido fechados por el método plomo alfa (Larsen, *et al.*, 1958, Tabla 12) la más amplia variación de edades medias aparentes está entre los batolitos de la Sierra Nevada ($n = 15$, $\bar{t} = 102$) e Idaho ($n = 16$, $\bar{t} = 108$). Tomando a $\sigma = 10\%$,[11] tenemos que $\sigma_{\bar{t}} = 2.5\%$. Entonces la resolución es $3.96 \times 2.5 = 9.9\%$ o casi 10.5 m.a. El valor crítico es $2.77 \times 2.5 = 6.9\%$ o casi 7 m.a. Debemos concluir de esta manera de que si hay cualquier diferencia entre las edades medias de estos batolitos, en tal caso, con 80% de seguridad, la diferencia es menor de 11 m.a.

Se cree conocer las edades relativas de las rocas graníticas de Yosemite (Sierra Nevada) de acuerdo con sus relaciones de campo. Diez de estas rocas han sido fechadas por el método potasio-argón (Evernden, Curtis, Lipson, 1957). Las edades son dadas hasta el décimo de millón y se ha informado que "Es notable la concordancia entre las edades relativas de campo y las experimentales de los distintos plutones. Puede observarse que el intervalo promedio de tiempo entre intrusiones es de dos millones de años" (Curtis *et al.*, 1958, Pág. 12).

Al parecer no fueron hechas determinaciones repetidas, con la excepción de tres de los especímenes de la cuarzo monzonita del Half Dome que fueron fechadas. Que este número es demasiado pequeño como para proporcionar una estimación satisfactoria de la precisión se comprende del hecho de que mientras $s = 0.8\%$, el 99% de variación de seguridad es para $\sigma = 0.4 - 13.3\%$. Hasta que no se publique una mejor estimación de la precisión, por lo pronto adoptaremos ampliamente para fines ilustrativos un valor para $\sigma = 10\%$ como una estimación tentativa. La resolución, sería entonces de casi 34 m.a., y el valor crítico de unos 24 m.a., (véase la Fig. 2). Si la resolución fuese igual a la variación de las edades observadas, 18.4 m.a., la precisión analítica habría sido casi más del doble, o bien, de otro modo, cuando menos se hubieran hecho cinco determinaciones repetidas sobre cada espécimen. Para reducir la resolución

[11] Los niveles de seguridad citados no reflejan la presente incertidumbre en el valor de σ.

a un millón de años la precisión analítica tendría que ser casi 30 veces de como ahora parece serlo. Por lo tanto, concluimos que hay alrededor de un 70% de probabilidad de que la variación de fechas observadas ($\pm\sigma$) en las rocas de Yosemite se debe a errores casuales en los métodos analíticos; o, alternativamente, con los niveles de seguridad habituales, si es que existe cualquier diferencia entre las edades reales de las rocas, ésta es menor que 34 m.a. Si σ es tan baja como 5%, entonces la resolución sería de 20 m.a., o casi igual a la variación aparente.

En este campo, las comprobaciones de reproductibilidad son muy costosas; sin embargo, los resultados no son útiles hasta no tener alguna estimación de su precisión. La ciencia es una actividad racional y el autoritarismo es impropio; de aquí que los usuarios potenciales de las fechas publicadas deben estar capacitados para saber la naturaleza, el alcance y los descubrimientos de cualquiera de las comprobaciones de reproductibilidad que se hayan hecho de ella. Considerando ciertas suposiciones y el conocimiento de la precisión, se espera descubrir observaciones discrepantes; pero sin un mejor conocimiento del que existe corrientemente, debe ser inquietante encontrar una prueba circunstancial que sugiera que las fechas pueden ser descartadas en base a que no se ajustan a lo esperado. Si una roca aceptada *a priori* se rechaza *a posteriori* a causa de su edad, deben proporcionarse todos los detalles en relación a la precisión. Muy aparte de los juicios de los problemas más difíciles de aplicabilidad y exactitud, nadie debe utilizar una fecha mientras no esté satisfecho de que la resolución del método justifica el uso deseado.

REFERENCIAS

Aldrich, L. T., Davis, G. L., Tilton, G. R., and Wetherill, G. W., 1956, Radioactive ages of minerals from the Brown Derby Mine and the Quartz Creek granite near Gunnison, Colorado: J. Geophys. Res., vol. 61, pp. 215–232.

Carr, D. R. and Kulp, J. L., 1957, Potassium-argon method of geochronometry: Geol. Soc. Am., B., vol. 68, pp. 763–784.

Crow, E. L., Davis, F. A., and Maxfield, M. W., 1960, Statistics manual: New York, Dover, 288 pp.

Curtis, G. H., Evernden, J. F., and Lipson, J., 1958, Age determination of some granitic rocks in California by the potassium-argon method: California Div. Mines, Sp. Report 54, 16 pp.

——— and Reynolds, J. H., 1958, Notes on the potassium-argon dating of sedimentary rocks: Geol. Soc. Am. B., vol. 69, pp. 151–160.

Evernden, J. F., Curtis, G. H., and Lipson, J., 1957, Potassium-argon dating of igneous rocks: Am. Assoc. Petroleum Geol., B., vol. 41, pp. 2120–2127.

Faul, Henry, 1954, Nuclear geology: New York, John Wiley, 414 pp.

Folinsbee, R. E., Lipson, J., and Reynolds, J. H., 1956, Potassium-argon dating: Geochim. et Cosmochim. Acta., vol. 10, pp. 60–68.

Gentner, W., Jensen, F., and Mehnert, K. R., 1954, Zur geologischen Altersbestimmung von Kalifeldspat nach der Kalium-Argon-Methode: Zs. Naturforschung, Bd. 9a, 176 pp.

——— and Kley, W., 1958, Argonbestimmungen an Kaliummineralien-V: Geochim. et Cosmochim. Acta., vol. 14, pp. 98–104.

Goldschmidt, V. M., 1944, Crystal chemistry and geochemistry: Chemical Products, vol. 7, pp. 29–34.

Gottfried, D., Jaffe, H. W., and Senftle, F. E., 1959, Evaluation of the lead-alpha (Larsen) method for determining ages of igneous rocks: U. S. Geol. Survey, B., 1097-A, 63 pp.

Hurley, P. M. and Fairbairn, H. W., 1957, Abundance and distribution of uranium and thorium in zircon, sphene, apatite, epidote, and monazite in granitic rocks: Am. Geophys. Union, Tr., vol. 38, pp. 939–944.

Larsen, E. S., Jr., Keevil, N. B., and Harrison, H. C., 1952, Method for determining the age of igneous rocks using the accessory minerals: Geol. Soc. Am. B., vol. 63, pp. 1045–1052.

———, Gottfried, D., Jaffe, H. W., and Waring, C. L., 1958, Lead-alpha ages of the Mesozoic batholiths of western North America: U. S. Geol. Survey, B., 1070-B, 62 pp.

Lipson, J., 1958, Potassium-argon dating of sedimentary rocks: Geol. Soc. Am., B., vol. 69, pp. 137–150.

Lyons, J. B., Jaffe, H. W., Gottfried, D., and Waring, C. L., 1957, Lead-alpha ages of some New Hampshire granites: Am. J. Sci., vol. 255, no. 8, pp. 527–546.

Mehnert, K. R., 1958, Argonbestimmungen an Kaliummineralien-VI: Geochim. et Cosmochim. Acta, vol. 14, pp. 105–113.

Rose, H., Jr., and Stern, T., 1960, Spectrochemical determination of lead in zircon for lead-alpha age measurements: Am. Mineralogist, vol. 45, pp. 1243–1256.

Waring, C. L. and Worthing, H., 1953, A spectrographic method for determining trace amounts of lead in zircon and other minerals: Am. Mineralogist, vol. 38, pp. 827–833.

Webber, G. R., Hurley, P. M., and Fairbairn, H. W., 1956, Relative ages of eastern Massachusetts granites by total lead ratios in zircon: Am. J. Sci., vol. 254, pp. 574–583.

J. HOOVER MACKIN
University of Texas

Métodos de Investigación Racionales y Empíricos en la Geología[1]

A la mayoría de nosotros nos concierne y algunos tenemos la fuerte sospecha, en pro o en contra, de lo que le ha acontecido a la geología en los últimos 25 años: el aumento considerable del uso de técnicas no geológicas en la solución de los problemas geológicos, como por ejemplo fechar la edad de las rocas por el método de los radioisótopos; la tendencia de los que fueron campos de interés especial en convertirse en disciplinas casi o totalmente independientes con su jerga y publicaciones propias y cómo la mayoría de estas técnicas invaden todos los campos en una forma que podríamos llamar el vaivén de lo cuantitativo.

En las reuniones de nuestras sociedades, después de las sesiones técnicas, nuestros decanos se reunían en las habitaciones de los hoteles para continuar las discusiones que siempre giraban alrededor de estos cambios. Hay quienes se sienten tristes por la muerte de ciertos departamentos, otrora poderosos, los cuales, debido al retiro o a la evasión de las personas capaces que constituían sus más firmes pilares, ahora son ocupados por grupos de observadores de instrumentos e impostores. Se ha establecido como un signo escandaloso de los tiempos, de que en ciertos departamentos la cartografía geológica no se utiliza para la investigación, sino como una operación

---

[1] Un proyecto de este trabajo fue presentado como una plática en el banquete del Branner Club durante la reunión de la Cordilleran Section of the Geological Society en Los Angeles, abril 17, 1962. El texto se benefició en esencia y forma, gracias a las críticas de que fue objeto por parte de otros autores que presentan trabajos en esta obra. Deseo expresar también mi gratitud a las siguientes personas, quienes leveron partes o todo el manuscrito: Charles Bell, Richard Blank, Howard Coombs, Ronald DeFord, Ken Fahnestock, Peter Flawn, John Hack, Satish Kapoor, William Krumbein, Luna Leopold, Mark Meier, H. W. Naismith y Dwight Schmidt. Mi agradecimiento especial a Frank Calkins, quien hizo todo lo posible por hacer legible este trabajo.

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO M

de rutina —algo semejante a lo hecho desde el punto de vista de un ingeniero— y que, por lo tanto, no puede ser la base adecuada de una tesis doctoral. Casi siempre existe, al menos, una observación irónica, cada ocasión, en el sentido de que nuestros jóvenes geólogos con mentes pobladas de ecuaciones, piensan que la cartografía depende del espejo de una brújula Brunton; se hacen uno o dos comentarios acerca de su ignorancia o su descuido en relación a la literatura más antigua; sobre cierto escepticismo en cuanto a que el autor de una nueva monografía referente al mecanismo de la construcción de montañas *nunca* ha estado sobre una montaña y ni siquiera ha estado *fuera* de una carretera; y así sucesivamente. En cierto modo, dichas observaciones constituyen una burla, puesto que estamos enterados de que son simplemente los temores de toda generación pasada ante los progresos de toda generación joven. Pero en algunas ocasiones se tienen pruebas de que, efectivamente, hay malos sentimientos, los cuales reflejan, en parte, una actitud defensiva y puede haber unos pocos a quienes les parezca pensar que el tiempo debe ser detenido —que nada de lo nuevo es bueno.

Aunque soy uno de los decanos, a menudo cruzo el vestíbulo hasta una sesión concurrente de otro grupo, nuestro vanguardista, en donde hay un enorme celo evangélico para cuantificar, y si esto significa abandonar los métodos clásicos geológicos de investigación, tanto mejor; en este grupo hay algunos que piensan de W. M. Davis como un anciano estúpido que, en compañía de un cazador de mariposas constituye lo más interesante del paisaje; donde probablemente se tiene, de vez en cuando, una expresión de ira para los más viejos, quienes a través del control de empleos, fondos para la investigación, honores y acceso a las publicaciones, tienen la tendencia a sabotear todos los esfuerzos para elevar la geología a la estatura de una ciencia; donde en la urgencia de una transformación, según parece, nada de lo viejo es bueno.

Esta idea no es exagerada, aunque se aplica a un pequeño número: los negros y los blancos, ambos seguros de sus bases. Muchos geólogos se encuentran situados en un término medio y están acosados por las dudas. Por lo que a mí respecta, pienso en algunas ocasiones que el vaivén hacia lo cuantitativo es demasiado estable y demasiado lejano y que, a causa de un porcentaje más bien alto de conclusiones alcanzadas por ciertos métodos de manipulación de datos numéricos que son superficiales, o erróneos o aun ridículos dichos métodos deben estar equivocados y debemos detenerlos de algún modo con los métodos geológicos clásicos. No obstante, en algunas ocasiones me he sentido preocupado por ciertas cuestiones: por qué el vaivén en la geología se ha retardado tanto en comparación con el de la física y el de la química; si la geología, con su carencia relativa de leyes cuantitativas es, de hecho, una especie de subciencia de acuerdo con la declaración de Lord Kelvin que dice que todo aquello que no pueda establecerse en función de los números, no es ciencia (para el informe original y una discusión completa, véase Holton, 1952, Pág. 234). Aun más inquietante es la opinión entre algunos de mis amigos físicos en el sentido de que las relaciones de causa a efecto simplemente confunden los verdaderos resultados en la ciencia; más tarde volveré a este tema. Solamente a causa de los logros alcanzados por los científicos, quienes sostienen estas opiniones, debemos indagar dónde nuestras acostumbradas formas de pensar son anticuadas y dónde no debemos cambiar con severidad nuestros hábitos de pensamiento, o bien, de otro modo, entregar nuestras brújulas y martillos y desaparecer tranquilamente para recluirnos en un asilo para naturalistas ancianos.

La preparación de una plática que como conferencista visitante en la Universidad de Texas sustenté el último año sobre los métodos cuantitativos en geomorfología, me obligó a examinar estas estimaciones antagónicas que toleramos.[2] Sugiero que están ocurriendo dos cambios muy diferentes pero íntimamente entrelazados y que se han confundido en nuestras mentes.

Uno de estos cambios incluye un aumento en el ritmo de inspiración de ideas y técnicas nuevas de las otras ciencias y de la ingeniería, un aumento en la precisión y perfección de la descripción cuantitativa de los rasgos y procesos geológicos de todas clases y el uso cada vez más frecuente de métodos estadísticos y mecánicos de análisis de datos. Este cambio se ajusta fácilmente dentro del armazón del método geológico clásico de la investigación, cuyo rasgo más característico es la dependencia del razonamiento en toda etapa. La "Quantitative Zoology", por Simpson, Roe y Lewontin (1960), señala el camino. En cuanto este cambio simplemente implica hechos más completos o más perfectos, que es lo que siempre hemos estado haciendo, es entonces evolutivo y todo lo que tiene de axiomático es bueno. Algunos de nosotros podemos encontrar que es difícil estar al tanto de los nuevos descubrimientos, pero pocos

[2] Me encontraba enterado en forma confusa, hasta que, hojeando en una biblioteca en relación con la metodología en las otras ciencias consulté la docta literatura que trata de la historia y la filosofía de la ciencia. Me quedé tan sorprendido como Claude Albritton (1961), al comprobar que, salvo algunas excepciones notables (por ejemplo, Conant, 1951, Págs. 269-295) la geología casi no es mencionada en este tipo de literatura. Me gustaría hacerla sencilla tomando en cuenta el principio de que yo no soy un escolar—Solamente he examinado unas cuantas antologías de la historia de la ciencia y también debo hacer énfasis en que no me jacto de hablar de geología pues expreso el punto de vista de un simple geólogo de campo.

se oponen a ellos aun secretamente y aun el más reaccionario no puede arrastrar sus pies en público sin el descrédito de él mismo.

El otro cambio es la introducción del método de resolución de problemas, del todo diferente que es esencialmente empírico y de un uso cada vez más extendido. En su forma más simple, casi no depende del razonamiento; su rasgo más característico, cuando funciona como un método independiente, es aquel que reemplaza el proceso del razonamiento por operaciones que son principalmente mecánicas. Por éste y otros motivos es extraño a nuestros acostumbrados hábitos de pensamiento, por lo que nos inclinamos a desconfiar de él. Con "nos", por supuesto, me refiero a los conservadores de mi generación.

Una parte de la confusión de nuestro pensamiento proviene, al menos, del fracaso para distinguir entre la cuantificación evolutiva, que es buena y la clase mecánica de cuantificación que, según mi opinión, es mala cuando sustituye al razonamiento. No es fácil trazar una línea entre ellas debido a que los procedimientos empíricos son únicos en su especie o pueden funcionar efectiva y útilmente como partes de los métodos geológicos clásicos; esto es, pueden reemplazar o combinarse en todas proporciones con los procesos del razonamiento que son la señal inequívoca del método. Cuando se reconoce esta distinción se hace evidente que el problema real no es lo cualitativo contra lo cuantitativo sino la racionalidad contra un ciego empirismo.

Aun cuando la regulación del tiempo ha estado influida por guías como Chayes, Hubbert, Leopold, Krumbein y Strahler, ahora nos encontramos en el vaivén a lo cuantitativo a causa del incremento explosivo de la eficacia de los datos numéricos en las últimas décadas (Krumbein, 1960, Pág. 341) y al trabajo preliminar descriptivo básico que ahora ha avanzado lo suficiente en muchos campos de la geología para permitir, al menos, la formulación introductoria de generalizaciones cuantitativas significantes. La cuantificación de la geología avanzará a un ritmo lo más acelerado posible, no importa qué es lo que hagamos como individuos, aunque pienso que el ritmo podría acelerarse un poco y sería un buen propósito, si las diferencias que surgen de las desavenencias, entre los dos grupos situados en sitios opuestos en el vestíbulo, pudieran ser reducidas, al menos. Un análisis de ciertos métodos cuantitativos de investigación que son principalmente empíricos, espero que servirá para poner de manifiesto sus méritos y sus limitaciones y pueda convencer a algunos de nuestros decanos que, aunque desconozcan las limitaciones que puedan producir resultados problemáticos, se sigue que no hay algo erróneo ni con la cuantificación, ni con el empirismo ciego

como tales. Pero esto no es muy importante —pues los decanos tendrán cuidado del tiempo de muy buena gana—. Este ensayo es para los más jóvenes —los estudiantes graduados— y su propósito es demostrar cómo la cuantificación, la cual están obligados a hacer, ni es necesaria ni escapa al método geológico clásico. Su mensaje es la proposición no muy nueva, en la que hay mucho de ventajoso en las aproximaciones antiguas y recientes para la resolución de los problemas. Un enunciado breve de lo que llamo método racional servirá para señalar el contraste entre este método y el empírico el cual nos concierne principalmente.

El método racional

Estoy seguro que muchos de los geólogos estadounidenses tienen conocimiento de los tres mejores trabajos que tratan sobre este método: el de G. K. Gilbert "Inculcation of the Scientific Method by Example", publicado en 1886; el de T. C. Chamberlin "Method of Multiple Working Hypotheses", publicado en 1897 y el de Douglas Johnson "Role of Analysis in Scientific Investigation", publicado en 1933. No es necesario describir aquí el llamado método científico, pues para mi propósito únicamente deseo recordarles que implica una interacción de la observación y el razonamiento y en el que las primeras observaciones sugieren una o más explicaciones, las hipótesis de trabajo, cuyo análisis conduce a un examen o experimentación ulterior. Esto a su vez permite que se descarten algunas de las primeras hipótesis y el refinamiento de otras, y su análisis conduce a desechar datos que ahora se consideran como ajenos al resultado, y a la perspicacia y agudeza del ingenio para concentrar la investigación en busca de datos adicionales que están ocultos o que de otra manera son difíciles de obtener, pero los cuales son de un valor diagnóstico especial; y así se continúa sucesivamente. Estas etapas son descifradas en términos formales en los trabajos mencionados y fue útil hacerlo, pero aquellos quienes siempre usan el método nunca siguen las etapas en el orden establecido; el método se ha convertido en un hábito de pensamiento que comprueba el razonamiento contra otras líneas de razonamiento, la evidencia contra otras clases de evidencia, el razonamiento contra la evidencia y la evidencia contra el razonamiento, probando de esta manera que tanto la evidencia como el razonamiento son necesarios para la aplicación y la exactitud en todas las etapas de la investigación.

Parece ser lo más común, actualmente, mofarse de este método a pesar de que esencialmente no difiere del método de resolución de problemas utilizado por el hombre en la calle. Me he interesado en

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES

observar cuidadosamente la forma en que los hombres en la calle, incluyendo algunos médicos —los prácticos, no los investigadores— llegan a conclusiones, y solamente puedo sugerir que los científicos, quienes insisten que todas las personas lleguen a conclusiones de la misma manera, deben reexaminar sus convicciones. Por supuesto hay intelectuales poco comunes que no necesitan disciplinarse, pero para la mayoría de nosotros con mente ordinaria, la facilidad en las operaciones que he bosquejado debe adquirirse por precepto, ejemplo y práctica.

El objetivo del método científico es entender el sistema investigado —entenderlo en una forma tan completa como sea posible. Para muchos geólogos significa comprender las relaciones de causa y efecto dentro del sistema (Garrels, 1951, Pág. 32). Pueden introducirse en la investigación, tarde o temprano, los datos cuantitativos y las manipulaciones matemáticas dependiendo de la naturaleza del problema y de su complejidad. En general, mientras más grande es el problema, es más polifacético, más complicado por acoplamientos de realimentación secundarios y terciarios, y, mientras más difícil sea de obtener la prueba, lo más esencial es la continuación eficiente del estudio para que el sistema deba ser entendido primero en términos *cualitativos;* esto es posible hacerlo únicamente ideando los experimentos más significativos o de otra manera conducir la búsqueda de los datos críticos sobre los cuales basar un entendimiento final en términos cuantitativos.

Un problema —cualquier problema— cuando es admitido por primera vez, con toda probabilidad está definido pobremente. Debido a que es imposible buscar con inteligencia las explicaciones hasta que nos damos cuenta que necesitamos explicar, la primera etapa en la operación del método científico generalmente es la de enfocar el problema por medio del razonamiento, es decir, por medio de la reflexión, aunque, como veremos brevemente, también hay otra forma. Entonces, si el razonamiento prueba que el problema es polifacético, el investigador no dispara a todas las caras a un mismo tiempo con una escopeta, sino que las tira una por una con un rifle —con *el* rifle y *la* bala que él considera más apropiada para aquella cara.

Esto significa que el investigador admite para sus gráficas, por decirlo así, únicamente los detalles de la evidencia que son apropiados al tema particular que se está investigando y que son tan precisos como prácticos y acordes con los límites de muestreo probables y al error experimental expresados gráficamente. Al interpretar las soluciones de la gráfica no promedia más allá de lo exigido para aceptar estos límites en el cálculo. Y una vez que ha sido admitido

un detalle de información para la gráfica ya no puede menospreciarse y, como regla, estos detalles que se encuentran fuera de los apiñamientos de puntos son, al menos, tan significativos, y generalmente mucho más interesantes, que aquellos que se localizan dentro de dichos apiñamientos. De la indagación de estos errores se producen muchas ideas nuevas cuya mayoría logra abrirse camino en la ciencia.

El método científico trata de abarcar todas las soluciones —estructuras teóricas completas— desde el comienzo, y éstas son las hipótesis de trabajo que se encaminan hacia las investigaciones y hacia la comprobación de las evidencias. Pero uno nunca debe precipitarse más allá de los procesos de comprobación de datos para una generalización que se considera como una conclusión. Esto no se debe a que haya cualquier error moral al generalizar con rapidez. Es únicamente que, a través de un periodo de 500 años, los investigadores han encontrado que las estructuras teóricas formadas en parte de bloques sin ensayar y mal acoplados, pueden volcarse tarde o temprano y que, por lo tanto, de ninguna manera se alcanzará progreso eficiente alguno aun cuando se construya sobre una estructura de pilotes. La necesidad de comprobar la solidez de cada bloque construido *antes* de integrarse a la estructura —es decir, determinar la calidad o aplicabilidad de cada detalle de prueba *antes* de ponerlo en la gráfica— es destacado por Douglas Johnson (1933). Sus trabajos fueron la antítesis de aquello a lo cual podemos volver ahora.

El método empírico

He pensado largamente cómo el método de la ingeniería o el tecnológico (pronto veremos que es necesario asignarle otro nombre) trata casi exclusivamente, desde el principio, con datos cuantitativos y procede en forma directa hasta alcanzar una solución cuantitativa con la que termina la investigación. Este método reduce a un mínimo o elimina para siempre el escenario del razonamiento inductivo y deductivo por medio del cual son procesados los datos y las ideas en el método científico, lo que significa que no puede ser crítico para los datos cuando ellos son reunidos. Los datos son analizados primordialmente por métodos matemáticos, los que no hacen ninguna distinción entre causa y efecto; el entendimiento de estas relaciones de causa y efecto puede ser interesante, pero no esencial, y si en todo caso las explicaciones son consideradas, generalmente hay sólo una, la que, con toda probabilidad, es superficial. Todas las operaciones de razonamiento que caracterizan al llamado método científico dependen de un caudal de conocimientos

y de un criterio basado en la experiencia; siendo iguales las otras cosas, en estas operaciones la mano experta es mucho mejor que la del principiante. Pero las operaciones del "método de la ingeniería" son mucho menos dependientes del criterio, y para aplicar este método el joven astuto puede ser más rápido y mejor que el hombre de experiencia. Por esta razón y tomando en consideración sus respuestas rápidas, positivas, cuantitativas, es que se recurre a la generación más joven. Ahora explicaré la lógica de este método y cómo opera en la ingeniería.

Muchos ingenieros tienen la impresión de que a menos que una relación pueda establecerse en números, no vale la pena pensar en ella. Una buena razón y que sea suficiente para justificar esta actitud es la de que el ingeniero es un ejecutor, primordialmente —diseña estructuras de varios tipos e inspecciona su construcción—. En el proyecto de contrato para la construcción de un puente debe especificar las dimensiones y la resistencia de cada pieza estructural. Los empleados no ingenieros son capaces de pensar que el plano de un proyecto puede indicar la necesidad de colocar una viga más bien fuerte en un punto dado en el puente. No obstante, un joven que ha permanecido cinco años en la escuela de ingeniería es incapaz de pensar con toda formalidad en una viga "más bien fuerte" pues para él todas las vigas que observa en su mente tienen propiedades numéricas. Si la resistencia de una viga no puede expresarse numéricamente todo lo que se piense acerca de ella es solamente una quimera.

La cuestión de los esfuerzos en una estructura de acero justamente se prepara de antemano. Sin embargo, el ingeniero frecuentemente se enfrenta a muchos problemas que no siempre tienen una fácil solución y que debe tratarlos —y a la vez completar los planos de sus proyectos— contra todo peligro. Si se le encarga el trabajo de diseñar un canal que deba conducir cierto volumen de agua para irrigación sin que haya azolvamiento o erosión del fondo o aun una tarea mucho más compleja como la de desarrollar y la de mantener navegable un canal de 3 m de profundidad de un gran río, no puede esperarse hasta que él u otros hayan elaborado una teoría completa del azolvamiento y erosión del fondo en los canales y ríos. Pueden transcurir 50 o 100 años antes de que cualquier aproximación o teoría completa pueda formularse en términos cuantitativos y sus proyectos, que deben ser absolutamente cuantitativos, deben prepararse en unos cuantos días o semanas para los contratistas quienes le han ordenado el trabajo. De esta manera está obligado a hacer ciertas suposiciones más sencillas, aun cuando comprende que están lejanas de su propósito por lo que debe apresurarse a aprovechar los datos que le sean eficaces aunque no sean completamente satisfactorios o con los que pueda obtener rápidamente de experimentos o modelos, no obstante que las condiciones son marcadamente diferentes de las que existen en el canal o río en particular.

Se ha acostumbrado a estas operaciones expeditas y no le interesa gran cosa si al dibujar sus datos mezcló unas pocas de naranjas con manzanas. De hecho, no se preocuparía mucho si unos cuantos *cestos* de manzanas y algunos *naranjos* armonizan con su gráfica. No puede examinar cada detalle de prueba tal como la calidad y la aplicabilidad; si así lo hiciera nunca se construirían estructuras, aun las más simples. Presiente que si existen suficientes puntos en un diagrama disperso, el promedio de los puntos malos quedará fuera y que la ecuación de la curva trazada a través del agrupamiento de puntos será lo suficientemente buena para utilizarla siempre en el diseño con un amplio factor de seguridad como si fuera un amortiguador. Y así es casi siempre. Este método es *cuantitativo, empírico* y *expedito*. Como es utilizado por el ingeniero es lógico y es bueno.

Por supuesto, es utilizado por investigadores en muchos otros campos fuera de la ingeniería. Los partidarios de la física y la química me comunican que se toma en cuenta en un gran porcentaje en la investigación general de aquellas ciencias. En un trabajo reciente de Paul Weiss (1962) con el subtítulo "Does Blind Probing Threaten to Dispalce Experience in Biological Experimentation" llama la atención sobre su creciente uso en la biología. Las aproximaciones y los ejemplos son diferentes, pero los puntos básicos del Dr. Weiss corresponden íntimamente con los expresados en este ensayo por lo que me inclino a citar, no uno o dos pasajes, sino todo el trabajo. Debido a que esto es impracticable, únicamente puedo incitar a los geólogos interesados en esta fase del problema general —¿hasta dónde estamos siendo arrastrados metodológicamente?— a que lean el original.

En vista del uso tan amplio en la ciencia de lo que he estado llamando método de la ingeniería o el tecnológico, no debe identificársele con tal nombre con la ingeniería o con la tecnología. Y por el otro lado de la moneda, el llamado método científico es usado con más consistencia y efectividad por la mayoría de los ingenieros y técnicos que por muchos de los científicos. Además de ser inapropiados en esta consideración, ambos términos tienen connotaciones derogatorias y laudatorias, las cuales dan por admitidas algunas cuestiones. Así, con dudas graves que no mencionaré desde este momento, utilizaré el término "método racional" porque estamos acostumbrados a pensar de él como si fuera el método científico y el

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MEND...

que he estado llamando método de la ingeniería lo referiré como el método empírico.[3]

En realidad, el método que intento describir es *un* método empírico; es la escopeta o el empirismo del diagrama de dispersión muy diferente del empirismo de Ehrlich, del uno a la vez o del trabajo realizado al azar, quien sin un plan razonado experimentó 606 sustancias químicas como específicas para la sífilis. La número 606 dio resultado. Ambos tipos de empirismo, el del uno a la vez y el del diagrama de dispersión pueden ser, en un extremo, puramente empíricos o si usted lo prefiere, un tipo empírico a bajo nivel. Como Conant (1952, Págs. 26-30) señala, el nivel es elevado —lo empírico se aproxima a lo racional— cuando la acumulación y procesado de los datos son cada vez más controlados por el razonamiento.

Uso de ejemplos

Las exposiciones del método racional por Gilbert, Chamberlin y Johnson dependen del uso de los ejemplos y habiendo probado otras maneras puedo asegurar que ésta es la única forma de hacer comprensible el método empírico. He escogido ejemplos reales debido a que son mucho más efectivos que los que inventara y que podrían haberse seleccionado de cualquier campo de la geología. He tomado mis ejemplos de publicaciones recientes que se refieren al trabajo geológico de los ríos, y no sé de ningún otro campo en el cual las dos aproximaciones para la resolución de problemas se mantengan en forma tan contrastable. Son eficaces los "ejemplos horribles" y su análisis tendría cierto valor festivo. Obtengo mis ejemplos de las publicaciones consideradas como contribuciones importantes. El ejemplo principal es de un trabajo que incuestionablemente es un informe destacado en este campo: "The hydraulic geometry of stream channels" por Luna Leopold y Thomas Maddock (1953). He discutido con Leopold en numerosas ocasiones la metodología de la investigación geológica y, en efecto, hemos estado de acuerdo y en desacuerdo en algunos puntos.[4]

Son esenciales los ejemplos en una discusión de métodos, pero es difícil trabajar con ellos. Los problemas de la hidráulica fluvial son tan complejos que si los ejemplos son adecuados para ser comprensibles deben ser simplificados y debemos tratarlos fuera del contexto. Esto puede irritar a los pocos quienes están familiarizados

[3] Puesto que muchos de mis amigos han objetado estos términos, es mi deber aclarar que también los considero poco satisfactorios debido principalmente a que tienen diferentes connotaciones en los diferentes campos de estudio. Los utilizo de acuerdo con su simple significado idiomático porque me parecen menos perjudiciales que cualesquiera otros términos y no discutiré con quienes piensen de otra manera.

[4] Leopold mantiene su actitud en cualquier parte en este volumen.

con estos temas en el nivel técnico y solamente puedo solicitar su indulgencia en apoyo a que estoy dirigiendo el curso de una dificultad entre la complejidad no esencial y la demasiada simplificación. Sin embargo, debo reconocer que soy parte interesada, pues hace unos 15 años publiqué un artículo sobre este campo (Mackin, 1948). Finalmente y lo más importante es que deliberadamente consideraré la forma en la cual son manejados los datos desde el punto de vista del geólogo conservador, el que no está acostumbrado a esta forma de manipular los datos para lo cual resulta tan crítica. Pero en fin, llegaré a abarcarlo casi todo para indicar que las operaciones que he criticado son las de un método de investigación válido, el que debe permanecer aquí.

Cambio en la velocidad de los ríos aguas abajo

Todos hemos visto el agua clara de las corrientes montañosas impetuosas y el flujo de las corrientes de las planicies que presenta una superficie lisa, y por estos motivos estamos dispuestos a suponer, por el contraste, que la velocidad de la corriente disminuye aguas abajo. Sin embargo, sabemos que la pendiente disminuye en este sentido y que la velocidad varía directamente con la pendiente. Finalmente, por medio de la observación, tenemos por experiencia que el tamaño del grano de la carga transportada por los ríos tiende a disminuir aguas abajo y que éste varía directamente, en ciertos aspectos, con la velocidad. Por las razones expuestas, siempre convenimos en que la velocidad disminuye hacia abajo.

Por lo tanto, en 1953, cuando Leopold y Maddock establecieron que la velocidad en los ríos *aumenta* aguas abajo, el efecto del enunciado fue como una conmoción de primer orden para muchos geólogos. De aquel artículo se han tomado tres gráficas (Fig. 1) que son buenos ejemplos como tipos de prueba y la forma de manejar dicha prueba que es, a la vez, la base de esta generalización. Estas gráficas son los registros de tres parámetros; la de arriba representa la amplitud del canal y el caudal en metros cúbicos por segundo; la de en medio, la profundidad y el caudal y la de abajo, la velocidad y el caudal.

Cada punto representa datos obtenidos de las estaciones de aforo del U.S. Geological Survey en el sistema de drenaje Yellowstone-Big Horn. Los puntos más a la izquierda, como los 13 y 16 están situados en pequeños afluentes de la cabecera de origen y los más a la derecha, como el 19, se encuentran en el tronco principal del Yellowstone. Las gráficas de arriba y de en medio muestran, como es de esperarse, que tanto la amplitud como la profundidad aumentan al

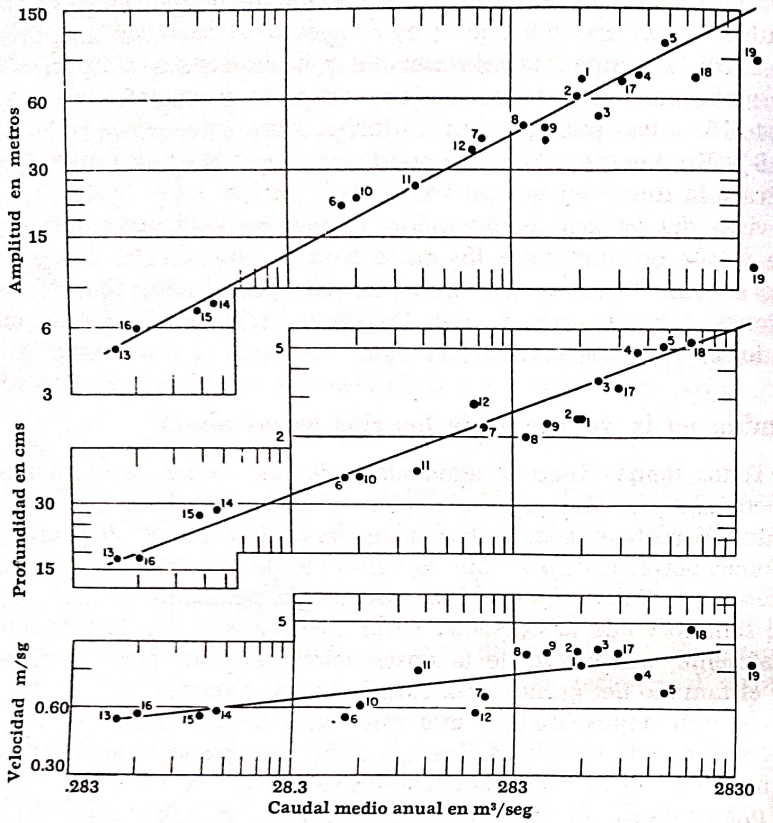


FIG. 1. Amplitud, profundidad y velocidad en relación al caudal, ríos Bighorn y Yellowstone, Wyoming y Montana (Leopold y Maddock, 1953, Fig. 6)

aumentar el caudal; la línea de la gráfica inferior asciende hacia la derecha; esto es, la velocidad aumenta al aumentar el caudal.

Algunos pueden preguntarse por qué nos hemos movido hacia arriba conforme aumenta la velocidad aguas abajo, lo cual es un problema estimulante, para aumentar la velocidad cuando aumenta el cuadal. Mientras no haya duda de que en muchos ríos el caudal aumenta aguas abajo, a lo más puede representar únicamente una medición aproximada de la distancia aguas abajo —la distancia que viajarían, por ejemplo, los granos que componen la carga—. La respuesta dada en el trabajo de Leopold y Maddock es la de que no hubo suficientes estaciones de aforo a lo largo de los ríos que suministraran un número adecuado de puntos. El uso del caudal, más bien que de la distancia, hace posible llevar a una gráfica la corriente principal

y sus afluentes de todos tamaños; o, a pesar de esta cuestión, puesto que la "corriente principal" es un término relativo, todas las corrientes vecinas en una área bastante grande pueden suministrar suficientes puntos que descubran las relaciones significativas.

Esta explicación no satisface completamente la cuestión a menos que, dadas las circunstancias, sea una solución correcta, pero surge otro problema.

La velocidad en cualquier punto dado —por ejemplo, cualquier estación de aforo— varía, de tiempo en tiempo, con las variaciones del caudal durante el año; a medida que el caudal y la profundidad aumentan, lo cual ocurre generalmente en la primavera, la velocidad en un punto dado aumenta notablemente. Entonces, podemos preguntar *¿cuál* caudal está representado por los puntos en la gráfica inferior? La pregunta es oportuna, debido a que sabemos que en la mayoría de los ríos gran parte de la transportación anual —la arena y la grava que se mueven a lo largo del cauce— se efectúa durante un periodo relativamente breve de máximo caudal. Pero estas gráficas muestran los caudales anuales medios y las velocidades desarrolladas de acuerdo con estos caudales. La razón para utilizar el caudal anual medio es porque se puede disponer fácilmente de este parámetro en muchas estaciones de aforo. Esta explicación no satisface la pregunta: ¿Cuál es lo aplicable de un caudal anual medio en un análisis del trabajo geológico de los ríos?

Esta pregunta general, la cual se aplica a cada una de las estaciones consideradas individualmente, adquiere otro significado cuando se toman en cuenta las relaciones entre el caudal anual medio y el máximo caudal de las corrientes. Haciendo referencia al Water Supply Paper 1559 (1960, Pág. 169) se indica que en el punto 13 (Fig. 1), que representa una estación de aforo en el North Fork de Owl Creek, el caudal anual promedio para un periodo de 14 años fue de 425 lt/seg mientras que el caudal máximo durante el mismo periodo fue de 9.60 m³/seg, es decir, que el máximo fue aproximadamente 213 veces mayor que el promedio. El mismo trabajo (Pág. 234) indica que en el punto 19, el cual representa al río Yellowstone, en Sidney, Montana, el promedio del caudal anual en un periodo de 46 años fue de 36.9 m³/seg mientras que el máximo durante el mismo periodo fue de 4502.4 m³/seg, lo cual representa un valor máximo 12 veces mayor que el del promedio. La cosa más notable de esta gráfica —la que le hace ser más excitante— es la que manifiesta que la velocidad *aumenta* aguas abajo, aunque por las observaciones sabemos que el tamaño del grano *disminuye* en la dirección señalada. El significado de la gráfica se entiende con más facilidad cuando recordamos: (1) que los granos más grandes solamente se

mueven en las épocas de caudal máximo; (2) que esta gráfica muestra el caudal medio anual y (3) que en los ríos pequeños del lado izquierdo, el caudal máximo puede ser 200 veces tan grande como el caudal que se señala en la gráfica, mientras que en los ríos grandes de la derecha es menos de 20 veces y generalmente menor que 10 que el caudal manifiesto, es decir, que las relaciones críticas en los dos lados son de un orden diferente de magnitud. La pendiente de la línea es un hecho estadístico importante pero que no influye directamente en la transportación de la carga de fondo por los ríos.

Una opinión más en esta relación. La profundidad en el promedio del caudal anual en el punto 13, en el North Fork de Owl Creek se muestra en la gráfica de enmedio el cual es algo menor de 18 cm. En general, conozco el área y aunque no he hecho mediciones en esta estación de aforo recuerdo que los guijarros más grandes del cauce del North Fork son de 18 cm de diámetro —es decir, que las guijas en el cauce tienen diámetros del mismo orden de magnitud que la profundidad calculada en este punto donde la velocidad señalada es muy lenta. Relaciones semejantes se obtienen de las corrientes en las cabeceras de origen cuyos puntos están anclados, por decirlo así, abajo del extremo izquierdo de la línea.

Observemos brevemente un aspecto más del caso. La velocidad es más baja cerca del fondo de un río que cerca de su superficie. Rubey (1938) y otros han demostrado que el movimiento de la carga de fondo es determinada, no por la velocidad promedio, sino por la velocidad cerca del fondo. Y también se ha establecido que la relación entre la velocidad promedio y lo que Rubey llama "velocidad de fondo" varía notablemente con la profundidad del agua, irregularidad del cauce y otros factores. Entonces con justa razón podemos preguntar *¿cuál* velocidad está representada por los puntos en la gráfica? La respuesta es expresada claramente por Leopold y Maddock (1953, Pág. 5.)

> La velocidad discutida en este informe es el cociente obtenido de dividir el caudal entre el área de la sección transversal y es la velocidad media de la sección transversal como la que se usa en la práctica de la hidráulica... Esta velocidad media no es el parámetro más significativo de la velocidad para discutir el transporte de los sedimentos, sino que es la única medición de la velocidad para la cual se aprovecha un gran volumen de datos. Aunque los autores reconocen sus limitaciones, aquí se utiliza la velocidad media en lugar de datos adecuados sobre un parámetro más significativo.

De esta última cita hay otras varias cuestiones similares acerca de esta gráfica, de las cuales algunas son discutidas por los autores en un estilo claro y sencillo, pero que no desarrollaré ni aun las

secundarias ni las terciarias que derivan de las respuestas. Algunos de ustedes pueden estar pensando: no haga caso de los puntos individuales ¿pero qué hay acerca de las tendencias generales? Podría hacerse ver que si las conclusiones son consistentes interiormente; que si ellas casan con las de otros sistemas fluviales; en resumen, si estos procedimientos obtienen resultados, esto solamente los justifica.

Observemos los resultados. La Fig. 2 es la gráfica de la velocidad —caudal de la Fig. 1, modificada por la introducción de símbolos para identificar puntos afines y de líneas discontinuas para los ríos individuales.

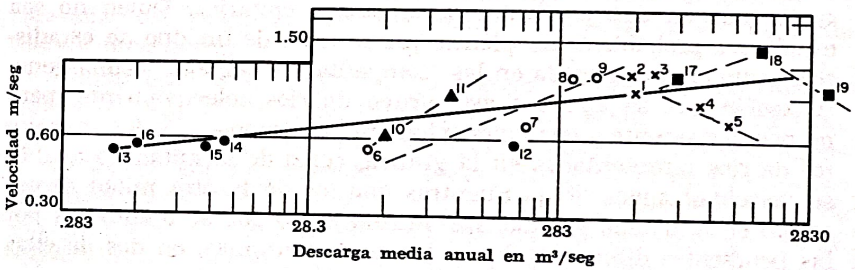


FIG. 2. Gráfica de velocidad-descarga igual a la de la Fig. 1, con líneas discontinuas para ciertos ríos; los triángulos para el río Greybull, círculos en blanco, para el río Wind, las X para el río Bighorn y los cuadrados para el río Yellowstone

Los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 están en el tronco principal del río Big Horn; los puntos 1, 2 y 3 están en la cuenca del Río Big Horn; el punto 4 se encuentra a unos 80 km aguas abajo del punto 3 y el 5 se encuentra como a 32 km aguas abajo del punto 4. La línea discontinua se ajusta perfectamente bien a estos puntos, descendiendo hacia la derecha, lo cual significa que en el tronco principal del Big Horn, la velocidad *disminuye* aguas abajo.

Los puntos 6, 7, 8 y 9 están en el río Wind que en realidad es la parte superior del río Big Horn. No se sabe dónde los puntos 8 y 9 representan los mismos tipos de condiciones de cauce como en 1, 2, 3, 4 y 5, como es sugerido por sus posiciones o dónde deben agruparse con el 6 y el 7, así llamados a causa del uso geográfico de los nombres. Digamos entonces que, en lo que los geógrafos llaman río Wind, la velocidad, en el promedio de caudal anual, aumenta aguas abajo.

Los puntos 10 y 11, ambos en el río Greybull, también sugieren, por su posición relativa, que la velocidad aumenta hacia abajo; la

pendiente de la línea asciende hacia la derecha. Pero el punto 10 está cerca de la desembocadura del Greybull a unos 64 km en línea recta aguas abajo a partir del punto 9; el caudal anual promedio disminuye aguas abajo (Leopold, 1953, Pág. 612) parcialmente debido a la derivación del agua para irrigación. La velocidad realmente disminuye en forma notable aguas abajo del Greybull.

Los puntos 17, 18 y 19 están sobre el tronco principal del Yellowstone. De la gráfica parece que la velocidad aumenta aguas abajo entre los puntos 17 y 18 y disminuye en el mismo sentido entre los puntos 18 y 19.

La generalización de que la velocidad aumenta pendiente abajo, a un ritmo expresado por la pendiente de la línea continua de la gráfica, es un tipo particular de respuesta empírica. Quien no sea estadístico probablemente piensa que se trata de un tipo de estadística como el que se estila en las "compañías de seguros" —una generalización que se aplica a este grupo de ríos colectivamente, pero no necesariamente a cualquier miembro del grupo—. De los segmentos de ríos representados en la gráfica, cerca de la mitad aumentan su velocidad aguas abajo mientras que los de la otra mitad disminuyen en el mismo sentido. Del mismo modo que se manifiesta por las pendientes diferentes de las líneas discontinuas, en dos de ellas el ritmo de cambio de velocidad no es el mismo.

Realmente esto no es muy sorprendente. La línea continua promedia las relaciones de velocidad —caudal en los segmentos de ríos que son, como hemos visto, básicamente diferentes en este respecto. La pendiente, que sin duda entra en la velocidad, no está del todo en la gráfica. Por estas razones la ecuación de la línea sólida no es una solución definitiva para cualquier problema geológico.

Pero —y aquí cambio de tono— esta gráfica no fue proyectada para suministrar una respuesta firme a cualquier problema. Es solamente una etapa —una etapa descriptiva preliminar— en una investigación de los cambios de velocidad en los ríos desde su nacimiento hasta su desembocadura. Esto verificado por medio del trazo de datos aprovechados convenientemente en un diagrama disperso.

Desde el principio indiqué cómo este procedimiento, que es empírico, expedito y cuantitativo, sirve muy bien al ingeniero en la práctica para la adquisición de soluciones que son del propio orden de magnitud que se utilizan en proyectos de límites fijos. Aquí vemos que el mismo procedimiento opera en la forma de etapa en una investigación científica. En esta gráfica es utilizado para aprender algo acerca de las relaciones de velocidad en los ríos de un conjunto de datos que fueron obtenidos para un propósito distinto, pues el propósito de las estaciones de aforo del U.S. Geological Survey es medir

el caudal y no la velocidad. Esta rebusca de información de un solo tipo de las mediciones —particularmente los registros de medidas a largo plazo— que son más o menos inadecuadas a causa de que no fueron planeadas para suministrar aquel tipo de información, es una operación muy común en muchas investigaciones científicas que es del todo admirable.

Hay otro punto que ganar tocante a esta gráfica. Antes de que fuese hecho el trabajo representado por ella, no hubo investigaciones completas de la velocidad de los ríos desde la cabecera hasta la desembocadura; los estudios estuvieron a punto de terminarse. En estas circunstancias algunos disparos en la oscuridad —algunos disparos de *escopeta* en la oscuridad— fueron completamente ordenados. La brevedad con la que se puede establecer este punto no es la medida de su importancia.

Finalmente, deseo enfatizar que Leopold y Maddock no consideraron la línea sólida como solución —su ecuación *no* fue la meta de su investigación. Continuaron en este trabajo y otros que siguieron tratando con las velocidades desarrolladas en el máximo de los caudales y con muchos otros aspectos de la geometría hidráulica de los cauces de los ríos. Es por esta razón y por las otras dos ya establecidas que puedo utilizar la gráfica sin agraviar a sus autores.

Actualmente, nuestra literatura está siendo inundada por datos y gráficas de este tipo, sin justificación alguna, ya sea desde el punto de vista de la ingeniería o desde el científico, de lo cual he hecho un bosquejo. En muchos casos la gráfica es una forma fácil de adquirir una solución cuantitativa de una mezcla confusa de datos obtenidos en el curso de una investigación quizá a un alto costo, y a esta mezcla confusa puede deberse el fracaso del investigador que no medita el problema a través de sus antecedentes y durante el periodo de la acumulación de datos. Las ecuaciones descubiertas en las gráficas o logradas por otras manipulaciones mecánicas de los datos son presentadas como conclusiones científicas terminales. Sugiero que las ecuaciones pueden ser conclusiones terminales en la ingeniería pero, desde el punto de vista de la ciencia, ellas son enunciados de problemas, no conclusiones. El enunciado de un problema puede ser muy valioso, pero si se toma equivocadamente por una conclusión, puede resultar peor que inútil, debido a que implica que el estudio ha finalizado, cuando de hecho está comenzando.

Si esta aproximación empírica —esta prueba a ciegas— fuera la única forma de cuantificar la geología tendríamos que contentarnos con ella. Pero no es así; la aproximación cuantitativa está asociada con la aproximación empírica pero no está casada con ella. Si usted hiciera mentalmente una lista de los mejores trabajos del

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES

campo del que es especialista descubriría que la mayoría son cuantitativos o racionales. En el estudio de los ríos pienso en los estudios de laboratorio y campo de Gilbert de la explotación hidráulica de detritos de Sierra Nevada (1914-1917) y en los análisis de Rubey de la fuerza requerida para mover las partículas sobre el cauce de una corriente (1938). Estos geólogos y muchos otros que acuden a mi memoria tienen (o tuvieron) la facultad feliz de tratar con números sin dejarse arrastrar por ellos —de cuantificar, en la misma medida, sin despedirse de sus sentidos. No estoy del todo seguro si el porcentaje de geólogos capaz de hacer esto ha aumentado demasiado desde la época de Gilbert. Sugiero que el incremento de este porcentaje o un aumento en el ritmo del incremento se encuentre en la dirección del verdadero progreso.

Seguiremos viendo más y más empirismo de escopeta en los escritos geológicos y quizá lo estaremos usando en nuestras diarias investigaciones e informes. Debemos aprender a reconocerlo cuando lo veamos y saber tanto de su utilidad como de sus limitaciones. No se comete error alguno si se considera como una herramienta pero al igual que sucede con otras, la forma como mejor trabaja depende de qué tan inteligentemente sea empleada.

Causas de la pendiente y del perfil longitudinal

Ahora podemos tornar al tema que, a mi parecer, es el punto crucial de la diferencia entre los métodos de investigación empírico y racional, particularmente las relaciones de causa y efecto.[5] Me gustaría descubrir primero una diferencia importante entre las causas inmediatas y superficiales opuestas a las causas geológicas a largo plazo y segundo, la utilidad, casi la necesidad, de reflexionar en un proceso que sea completamente una comprobación, regresando a las

[5] Preveo que mi tendencia a pensar en función de la causa y efecto será estimada como una señal de simplicidad científica por algunos científicos y por muchos filósofos. Mi persistencia en este hábito de pensamiento a pesar de que se me ha advertido acerca de él, no significa que haga un desafío a su sabiduría. Quizá parte de la dificultad yazca en la diferencia que existe entre lo que llamo causas geológicas a largo plazo y lo que en algunas ocasiones se llaman causas últimas. Por ejemplo, un filósofo podría decir, "Sí, es evidente que cosas tales como el caudal y el tamaño de los guijarros pueden controlar o causar la pendiente de un río ajustado pero entonces ¿cuál es la causa del caudal y del tamaño de los guijarros? Y si estas cosas son efecto de la altura de las montañas en las cabeceras de origen, en tal caso ¿es la causa la altura de las montañas"? Toda causa es un efecto y todo efecto es una causa. ¿Dónde nos detenemos? Solamente puedo contestar que me encuentro en el instante en que me concierne el trabajo geológico de los ríos y no la causa del levantamiento de las montañas. La pregunta ¿dónde nos detenemos? es para el filósofo, qué es la erudición; la averiguación de las causas últimas o la futilidad de las mismas es de su competencia. El investigador en la ciencia por lo general permanece dentro de su campo de competencia, más bien estrecho, y, especialmente si el tiempo es un elemento importante de sus sistemas, a menudo lo encuentran útil para reflexionar en función de la causa y del efecto en aquel campo. Al investigador nunca le conciernen las causas últimas.

causas a largo plazo, a las observaciones y conclusiones cuantitativas.

Muchos ingenieros estimarían que una ecuación que establece el tamaño de las guijas que pueden ser acarreadas por un río es una facultad evidente de su velocidad de fondo, es algo así como un enunciado completo de la relación. La ecuación no dice nada acerca de la causa y el efecto y el ingeniero podría sorprenderse si se le preguntara, cuál de las dos, la velocidad o el tamaño del grano, sería una u otra cosa. Sin duda, casi siempre contestará que la velocidad controla o determina el tamaño de los granos que pueden ser movidos y que, por lo tanto, la velocidad es la causa. Para afirmar este argumento él podría señalar que, si por el giro de una válvula, la velocidad de un río de laboratorio fuese aumentada lo suficiente, los granos que se encuentran de antemano en reposo en el cauce comenzarían a moverse; esto es, en base a la observación directa y por la prueba del sentido común de la regulación del tiempo relativa, el aumento de velocidad es la causa del movimiento de los granos más grandes. Este es el punto hasta donde necesita llegar el ingeniero en muchas de sus operaciones sobre los ríos.

Podría estar muy deseoso de continuar con la siguiente etapa y estar de acuerdo con que la velocidad es, a su vez, parcialmente determinada por la pendiente. De hecho, al penetrar en el juego del vaivén de la causa y efecto, aun podría ofrecer voluntariamente esta idea situada en un territorio que le es familiar. Pero la siguiente interrogante —¿cuál es entonces la causa de la pendiente?— lo conduce a un territorio que no le es familiar; muchos ingenieros y algunos geólogos dan por supuesta la pendiente.

Nuestro ingeniero probablemente se inclinaría al principio a la cuestión del sentido común de cualquiera que sugiriera que el tamaño de los granos acarreados por un río determina la velocidad del mismo. Pero en cualquier perspectiva a largo plazo, los tamaños de los granos suministrados a un río están definidos, no por el río, sino por las características de las rocas, el relieve, la cubierta vegetal y otras propiedades físicas de su cuenca de drenaje. Si el río está, digamos, graduado (o ajustado, como dice el ingeniero), significa que en cada segmento la pendiente está ajustada para suministrar el justo poder de transporte requerido para acarrear en todo este segmento todos los granos, cualquiera que sea su tamaño que se introducen en él desde su parte superior. Los ríos que fluyen a través de cordilleras accidentadas constituidas de rocas duras, tienden a originar pendientes empinadas ajustadas a la transportación de grandes guijarros. Una vez originadas, las pendientes ajustadas son mantenidas indefinidamente hasta donde el tamaño de los guijarros

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M.G.

y otros factores controlantes permanecen iguales. Los ríos a los que solamente se les suministra arena tienden a mantener pendientes suaves apropiadas a la transportación de este material.

Si los tamaños de los granos suministrados a un segmento dado de un río ajustado son aumentados bruscamente por un levantamiento, por un cambio climático o por obra del hombre, los granos más grandes, los cuales están más allá de los que fueron acarreados antes, son depositados en la parte superior del segmento; el cauce, por este motivo, es elevado y consecuentemente la pendiente es más fuerte. Este cambio de pendiente debido al depósito continúa hasta que es alcanzada una pendiente, en particular, la cual suministra la justa velocidad requerida para acarrear aquellos granos más grandes, es decir, se origina una nueva pendiente de equilibrio la que, de aquí en adelante, el río mantendrá mientras permanezcan inalterables el tamaño del grano y las otras condiciones que controlan la pendiente.

Por lo tanto, en esta larga perspectiva, la velocidad está ajustada o determinada por el tamaño del grano; la prueba de la regulación relativa (primero el aumento en el tamaño del grano del material suministrado al río y después, a través de un largo periodo de reajuste, el aumento de la velocidad) señala el cambio en el tamaño del grano como la causa del cambio en la velocidad. Nótese que debido a que el periodo de reajuste puede durar miles de años, esta perspectiva está basada primordialmente en el razonamiento más que en la observación directa. Nótese que aquí tratamos tres diferentes órdenes de referencia procediendo la variación de lo empírico a lo racional.

El enunciado de que el tamaño del grano tiende a variar directamente con la velocidad de fondo, es una ecuación cuyos términos pueden transponerse; no están implicados ni el tiempo ni la causa ni el efecto y este primer orden puede ser totalmente empírico. La solución numérica correcta es completa en sí misma.

La perspectiva causa y efecto a corto plazo, la que se refiere a que el tamaño del grano está controlado por la velocidad de fondo, es en parte racional, o si usted lo prefiere, representa el nivel más alto del empirismo. Tal como lo he visto, este segundo orden tiene una ventaja significativa sobre el primero en que suministra una base más fértil tanto para la formulación de las hipótesis de trabajo, como para las relaciones mecánicas entre el flujo y la partícula en reposo o en movimiento en el fondo, que conduce a la observación con un fin determinado o al proyecto de experimentos.

El tercer orden de referencia, la perspectiva a largo plazo, la de que la velocidad está controlada por el tamaño del grano, tiene una

gran ventaja sobre la de corto plazo que es la de proporcionar el origen de la pendiente en tanto que aquélla no procura explicarla. Si usted lo prefiere, en su mayor parte es racional y representa todavía un nivel de empirismo más alto.

Puesto que creo que el objetivo de la ciencia es el del conocimiento del mundo que nos rodea, prefiero el segundo y tercero órdenes al primero, aunque reconozco que los tres son válidos; en todo caso, el mejor es aquel que en forma eficiente logra simplemente el trabajo que necesita hacer. Lo importante es reconocer que *hay* diferentes órdenes que se traslapan tan completamente que de esta manera están desprovistos de límites que es fácil pasar de uno a otro.

La diferencia entre la aproximación racional y la empírica en este tema de la pendiente del río y la necesidad de conocer con cuál de los tres órdenes de referencia estamos, puede aclararse con una pequeña historia. Una de las primeras teorías sobre el origen de los meandros publicada en una revista inglesa de ingeniería a fines del siglo XVIII, era esencialmente como sigue: desprovisto de todo detalle geográfico. Dos ciudades *A* y *B* situadas en el piso del valle de un río serpenteante, están separadas 80 km en línea recta. La ciudad *B* está 30 m más baja que la ciudad *A;* entonces el promedio de la pendiente del piso del valle es de 38 cm/km (Fig. 3). Pero la pendiente del río medida alrededor de sus gazas es únicamente de 19 cm/km. La teoría del ingeniero inglés fue, en efecto, aunque no expresada en estas palabras, de que el río se dijo a sí mismo "¿cómo es posible que con una pendiente de 18 cm/km, pueda ingeniármelas para permanecer en un valle cuyo piso tiene una pendiente de 38 cm/km? Si fluyo directamente hacia abajo en medio del piso del valle, comenzando en *A*, estaré 15 m *arriba* del piso del valle en *B* y esto sencillamente no puede ser". Entonces al río se le ocurrió que podría hacer frente a este problema combando su canal en gazas, precisamente con la sinuosidad requerida para mantenerse *sobre* el piso del valle, lo cual es semejante a lo que haría un hombre con una cuerda que resultara más larga que la distancia entre dos postes. Así lo arreglé y es por esta razón por la que tenemos meandros.

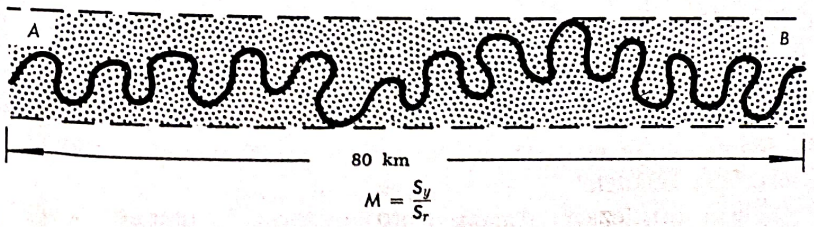


FIG. 3. Diagrama que ilustra una hipótesis del origen de los meandros

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES

Nótese que esta teoría no solamente explica cualitativamente el serpenteo, sino que expone todos los grados del mismo sobre una firme base cuantitativa, desde los meandros muy apretados, semejantes al bandeado de los dulces correosos, hasta aquellos que son casi rectos, —la sinuosidad o grado de serpenteo, M, es igual a la pendiente del piso del valle, S_v, sobre la pendiente del río, S_r.

No hay ningún error en esta ecuación mientras sólo sea descriptiva. Pero si su autor la considera como una explicación al igual que lo hizo el ingeniero inglés y si se desliza desde el orden empírico hacia dentro del racional como puede hacerlo casi sin percibirlo, probablemente no es que esté fuera de una clase de magnitud, sino que está al revés —lo cual no solamente es erróneo sino ridículo—. Esta explicación de los meandros deja un detalle fuera de cálculo —el origen del piso del valle. Por supuesto, el piso del valle no fue abierto, y dada su pendiente, por una escrepa de empuje, ni es el resultado de una creación especial antes de la creación del río. El valle fue formado por el río que fluye por su piso.

Causas de la disminución, valle abajo, en el tamaño de las guijas

Es tema de observación que valle abajo disminuyen tanto las pendientes de los ríos graduados como el tamaño de los guijarros en los depósitos aluviales. Entonces surge el problema que consiste en determinar hasta dónde la disminución de la pendiente es causada, en parte, por la disminución en el tamaño de las guijas o dónde la disminución en el tamaño de las guijas es causada, en parte, por la disminución de la pendiente o dónde estos cambios son independientes o la interdependencia resulta por alguna otra causa. Mi tercero y último ejemplo se aplica a las aproximaciones empírica y racional hasta una parte de este problema, a saber, ¿cuáles son las causas por las que disminuyen de tamaño las guijas? El razonamiento está algo más implicado que en los otros ejemplos; en esta consideración es el verdaderamente más representativo del problema geológico típico.

La disminución, valle abajo, en el tamaño de las guijas podría ser causada evidentemente por dos mecanismos bien distintos: (1) el desgaste por abrasión de las guijas a medida que se mueven a lo largo del fondo de la corriente y (2) la transportación selectiva que va dejando rezagadas las guijas más grandes. La pregunta es, ¿cuál mecanismo causa la disminución?; o si ambos operan ¿cuál es su importancia relativa?

No hay una forma directa y satisfactoria de obtener una respuesta a estas preguntas por medio de mediciones, aunque fuesen

detalladas, de los tamaños de las guijas en los depósitos aluviales. La aproximación utilizada más a menudo es la del experimento de laboratorio. Generalmente los fragmentos de roca de uno o más tipos son colocados en un cilindro el que puede girar alrededor de un eje horizontal y se ha construido así para que, al dar vueltas, los fragmentos deslicen, rueden y caigan. Los fragmentos se vuelven a medir de tiempo en tiempo para determinar la reducción en su tamaño, calculándose la correspondiente distancia viajada de la circunferencia del cilindro y del número de rotaciones. Este tratamiento no se aproxima en forma muy estrecha con el proceso de desgaste efectuado en el cauce real del río. Kuenen (1959) diseñó un aparato mucho mejor en el cual los fragmentos se mueven en un piso de concreto en una trayectoria circular por medio de una corriente de agua. Cualquiera que sea el aparato, no hay duda que la disminución en el tamaño de las guijas observada en el laboratorio se debe totalmente a la abrasión a causa de que ninguna de ellas quedó rezagada, es decir, que no hay ninguna posibilidad de que se efectúe la transportación selectiva.

Cuando los ritmos de reducción de laboratorio en el tamaño de las guijas por unidad de distancia de viaje son comparados con la disminución, valle abajo, en el tamaño de las guijas de los depósitos aluviales a lo largo de muchos ríos, se encuentra que esta disminución en los ríos es algo mayor que la que podría esperarse en base a los datos de laboratorio en relación a los ritmos de abrasión. Si estos ritmos de abrasión de laboratorio representan correctamente los de la abrasión en el fondo del río, debe ser necesario sólo sustraer para determinar qué porcentaje en la disminución en el tamaño del grano, valle abajo, en los depósitos aluviales, es debida a la transportación selectiva.

Los datos de campo y laboratorio relacionados con este problema han sido revisados por Scheidegger (1961) en su libro de texto "Theoretical Geomorphology", el cual está tan alejado del lado cuantitativo tanto como le es posible lograrlo. Scheidegger (Pág. 175) concluye que "...el mecanismo más probable al que se debe la graduación de las guijas en los ríos, consiste en la trituración de las guijas por la acción de las fuerzas de la fricción, pero su posición ha sido destinada a lo largo del cauce de la corriente por un proceso de clasificación debido a la transportación diferencial".

Si lo he entendido correctamente este enunciado significa que las guijas son hechas más pequeñas por la abrasión, pero que la disminución en el tamaño, valle abajo, en los depósitos aluviales se debe principalmente (o ¿totalmente?) a la transportación selectiva.

Sobre una base algo diferente —el ritmo de reducción de las guijas de rocas menos resistentes, en relación a la cuarcita, en dirección valle abajo en los tres ríos orientales de las Black Hills— Plumley (1948) concluye que alrededor del 25% de la reducción en estos ríos es debida a la abrasión y cerca del 75% a la transportación selectiva.

Estas dos conclusiones en cuanto a la causa de la disminución, aguas abajo, en el tamaño de las guijas, están basadas firmemente sobre mediciones y se conviene en atribuirlas principalmente a la transportación selectiva. Examinemos una aproximación diferente —pensemos a través de las implicaciones de los procesos a largo plazo.

La disminución del tamaño de las guijas, aguas abajo, por la transportación selectiva requiere que las más grandes queden rezagadas permanentemente. Las de 7.5 cm, por ejemplo, se mueven hacia abajo hasta cierta zona y son depositadas ahí debido a que ya no pueden ser transportadas más lejos. Las de 5 cm son arrastradas más abajo para ser depositadas en una zona apropiada de acuerdo con la disminución de la pendiente. Estas zonas pueden tener una considerable longitud a lo largo de la corriente, estar pobremente definidas, y por supuesto, traslaparse, pero hay un límite aguas abajo en donde más allá de él no ocurren guijas de un tamaño dado en los depósitos aluviales debido a que ninguna podría ser acarreada fuera de aquel límite que está fijo por el poder transportante.

Considérese un río de régimen permanente de tal manera que la pendiente y la altura en un segmento dado son mantenidas indefinidamente sin cambio y que en estas condiciones el río acarrea una carga de fondo de arena y grava y por simplicidad supóngase que el cauce y los márgenes son rocosos (Fig. 4a). La carga se mueve principalmente durante los periodos de aguas altas y se aloja en el cauce durante los periodos de aguas bajas. Durante cada creciente, con toda probabilidad son puestas más pronto en movimiento las guijas pequeñas que las más grandes y probablemente se moverán con más rapidez mientras están en movimiento y así se siguen manteniendo aun en la etapa menguante. En este sentido el proceso de transportación es selectivo —si una carga de grava que consiste de guijas identificables fuese vaciada en un segmento, las guijas más pequeñas avanzarían más que las grandes y esto causaría una disminución en el tamaño de las mismas en dirección corriente abajo en los depósitos de aguas bajas—. Pero en el régimen de aguas permanentes, es decir, cuando hay un suministro continuo de un tipo particular de guija o de guijas de todos los tipos, todas las guijas depositadas en el cauce durante las aguas bajas pueden ser puestas en movimiento durante los periodos de las crecidas; si las guijas más grandes quedaran rezagadas permanentemente durante los ciclos estacionales de depósito y de erosión, el fondo sería elevado, lo que a su vez cambiaría las condiciones. Un río que no deposita y que fluye en un cauce con piso y márgenes rocosos, no puede librarse por sí mismo del material grueso por medio de la depositación a causa de que no hay un lugar dónde depositarlo fuera del alcance del río durante las fluctuaciones subsiguientes de la corriente; toda guija que entra a un segmento dado debe, con el tiempo, recorrerlo en toda su longitud y las más pequeñas se mueven con más rapidez que las más grandes, lo cual lo hacen también fuera de él. En el régimen de aguas permanentes, los depósitos de cauce, de lugar a lugar, en el segmento, contienen las mismas proporciones de las guijas más pequeñas y de las más grandes aunque todas han sido movidas al mismo ritmo. La transportación selectiva no puede ser una causa que contribuya a la disminución en el tamaño de la guija, aguas abajo, en nuestro río modelo debido a que no puede haber una depositación selectiva.

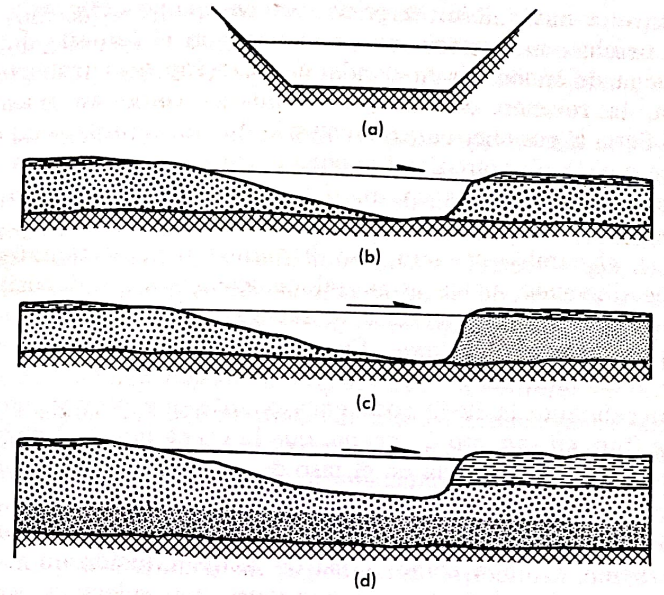


FIG. 4. Diagrama que ilustra los cambios en los ríos graduados y agraduados

En un río verdadero que mantiene el mismo nivel serpenteando en el piso de un valle amplio, la carga de fondo que deposita en el lado interior de una comba migrante lo hace a cambio de un volumen igual de depósitos de cauce ligeramente más antiguos erosionados del lado exterior de la comba. Si estos depósitos de canal fueron formados por el mismo río operando bajo las mismas condiciones y el

Biblioteca Municipal Murilo Mendes
JUIZ DE FORA MG

mismo nivel a través de un largo periodo de tiempo (Fig. 4b), el proceso de cambio no causaría una reducción en el tamaño del grano de la carga de fondo; hasta donde le concierne a la transportación selectiva, la relación debería ser la misma como en nuestro río modelo. Pero, si por alguna razón como la de una captura o un cambio climático o cualquier otro cambio que controla las condiciones, los antiguos depósitos aluviales en un segmento dado son de grano más fino que los de la carga de fondo que ahora entra en este segmento (Fig. 4c), el cambio causará una disminución en el tamaño de las guijas en dirección aguas abajo, al menos hasta los depósitos más antiguos que han sido totalmente reemplazados por depósitos que representan el nuevo régimen. El cambio también causa una reducción en el tamaño del grano si el río, manteniendo el mismo nivel, corta lateralmente la débil roca encajonante que proporciona material más fino, en tamaño de grano, que la carga que está siendo concomitantemente depositada en el piso del valle que está ampliándose.

La transportación selectiva asociada con el proceso de cambio en el río graduado, mientras no sea omitida de alguna manera, es mucho menos efectiva como causa de la disminución en el tamaño de la guija aguas abajo que la transportación selectiva que caracteriza al río agraduado o el que deposita. La diferencia esencial es mostrada en la Fig. 4d; algunos de los depósitos formados por un movimiento lateral del río agraduado a través del piso de su valle no están sujetos a ser retrabajados por movimientos laterales ulteriores debido a que el cauce es elevado lentamente. Las guijas más grandes en tránsito, en un segmento dado en una etapa de creciente, probablemente son concentradas en la parte basal del depósito formado durante la inmediata etapa menguante. De esta manera el río agraduado abandona por sí mismo estas guijas, selectiva y permanentemente y hay una correspondiente disminución aguas abajo en el tamaño de las guijas en los depósitos.

Si la elevación de la planicie de inundación por la depositación de materiales en los terrenos bajos guarda el mismo paso que la elevación agraduacional del cauce, los meandros migrantes pueden cambiar depósitos de cauce por aluvión más antiguo que consiste, totalmente o en parte, de material de terreno bajo de grano relativamente fino (Fig. 4d). Pero en los ríos que depositan rápidamente, este proceso, que es más bien ordenado, puede ceder su lugar a un mecanismo de relleno y derrame en el cual el relleno del cauce es acompañado por el biselamiento de los depósitos de cauce sobre las partes adyacentes del piso del valle. En algunas planicies proglaciares de depósitos fluvioglaciáricos este tipo de causas entrelazadas motivan que los grandes cantos cercanos al frente del hielo gradúen

a arenas guijarrosas en cosa de unos cuantos kilómetros; en algunos ríos proglaciares hay, sin duda, alguna reducción por desgaste en el tamaño del grano, pero casi toda la disminución se debe a la transportación selectiva.

Por lo consiguiente, en resumen, pensando en los procesos que indican que la disminución en el tamaño de los granos aguas abajo en los depósitos fluviales puede ser ocasionada en algunos casos, casi completamente por la abrasión y en otros casi totalmente por la transportación selectiva, dependen primordialmente que el río sea graduado o agraduado y del ritmo de la agraduación. Por lo tanto, se sigue que ninguna generalización, en cuanto a la relativa importancia de la abrasión contra la transportación selectiva en los ríos —en todos los ríos— tiene un significado cualquiera.

Otra forma diferente de observar este problema ya ha sido mencionada en otra relación. Como ya ha sido señalado antes, la transportación selectiva implica una depositación permanente, por ejemplo, guijas de unos 8 cm en una zona, de 5 cm en otra pero situada más aguas abajo, y así continuamente. Si esta depositación es causada por una disminución en la pendiente, aguas abajo, como se ha implicado a menudo y algunas veces establecido explícitamente (Scheidegger, Pág. 171), entonces ¿cuál es la causa de la disminución de la pendiente? Sabemos que el piso del valle no fue formado por una escrepa de empuje y también sabemos que no fue formado por un acto especial de creación antes de que el río comenzara a fluir. Hemos visto, al considerar el origen de los meandros, que los ríos normalmente forman los pisos de sus valles. Si el río está depositando con eficacia, generalmente se debe a un reciente cambio geológico, como el del gradiente en un segmento dado que no tiene la suficiente pendiente para permitir que el río mueva a través de aquel segmento todas las guijas que entran en él; en este río (que deposita) el tamaño de las guijas que son transportadas está controlado, en parte, por la pendiente quedando rezagadas las más grandes. Pero si el río es graduado, la pendiente en cada segmento es precisamente la requerida para permitir que el río, bajo las condiciones hidráulicas prevalecientes, cualesquiera que puedan ser, transporte la carga que se le ha suministrado. Las mismas guijas de 8 cm que son las más grandes que puedan observarse en el cauce y en las márgenes en una zona dada, al cabo del tiempo serán de 5 cm en una zona situada más aguas abajo.

No podemos esperar el tiempo suficiente para verificar esta conclusión por medio de la observación directa de las guijas individuales, debido a que permanecen, de ordinario, en reposo, en los depósitos aluviales del piso del valle por largos intervalos de tiempo entre

suaves movimientos en el cauce. De esa manera nos vemos obligados a llegar a una conclusión por razonamiento más que por la observación directa. En la consideración a largo plazo, el río graduado es un sistema de transportación en equilibrio, lo cual significa que mantiene la misma pendiente mientras permanecen las mismas condiciones. No hay lugar en este sistema que se mantiene por sí mismo para los depósitos permanentes: si las guijas de 5 cm entran a una zona dada se acumulan ahí por más de un periodo geológico de tiempo, elevando el fondo y cambiando la pendiente. Como las guijas se mueven en el canal a pausas en su viaje valle abajo, de esta manera son reducidas de tamaño por el desgaste y quizá también por intemperismo mientras permanecen en reposo temporalmente en el aluvión del piso del valle; la pendiente, la cual está siendo ajustada por su transportación, disminuye, por lo consiguiente.

¿Este razonamiento resuelve el problema? ¡Por supuesto que no! Simplemente nos hace más minuciosos al considerar los datos observacionales. Puesto que teóricamente es cierto que los mecanismos que causan que las guijas disminuyan de tamaño a medida que viajan aguas abajo operan en forma diferente, dependiendo de que la corriente sea graduada o agraduada, no hay sentido en promediar las mediciones hechas a lo largo de los ríos graduados con las hechas en los ríos agraduados. Sin embargo, las mediciones meticulosas y a pesar del refinado tratamiento estadístico de ellas, el promedio no tendrá ningún significado.[6]

El razonamiento nos dice que, en primer lugar, los ríos para ser estudiados en relación con el cambio de las guijas aguas abajo deben ser seleccionados con cuidado. Debido a que el régimen de aguas permanentes siempre es más fácil de tratar cuantitativamente que con un equilibrio migrante, sería conveniente restringir el estudio, como al principio, con los depósitos de los ríos graduados; y cuando los hayamos comprendido estaremos en condiciones de tratar las complicaciones introducidas por los ritmos variables de la agraduación. En forma semejante, estará bien, al menos al principio, eliminar para siempre, o al menos reducir a un mínimo, los complicantes efectos de las contribuciones de los tributarios u otras fuentes locales lo cual puede hacerse seleccionando segmentos de ríos que no tengan grandes tributarios o concentrando la atención en uno o más tipos

[6] Debo a Frank Calkins la idea de que, al igual que muchos híbridos, ésta sería estéril. El significado de esta forma de expresar lo que he estado diciendo acerca de promediar cosas disímiles es descubierto por la definición de ciencia de Conant (1951, Pág. 25) como "series entrelazadas de conceptos y esquemas conceptuales que se han desarrollado como resultado de la experimentación y la observación y que son fructíferas de experimentos y observaciones ulteriores. En esta definición el énfasis debe darse sobre la palabra 'fructíferas'."

de roca característicos de fuentes conocidas. Existen los inevitables problemas de muestreo, aunque algunos pueden evitarse fácilmente; por ejemplo, hay muchos segmentos de ríos en los que los depósitos aluviales no están contaminados por materiales rezagados. Cualquier intento por desarrollar un procedimiento de muestreo debe tener en consideración ante todo, el hecho de que los *depósitos* de canal en un segmento dado de un valle difieren, significativamente, en la graduación del tamaño del grano del material que se mueve a través del canal en aquel segmento en cualquier periodo breve; la investigación debe tratar con la carga de fondo (atrapado en una caja, por decirlo así), o con los depósitos o con ambos; pero si son medidos tanto la carga de fondo como los depósitos, las mediciones únicamente pueden ser comparadas pero no promediadas. Sin duda, debemos investigar, en cada río individualmente, los efectos del intemperismo de las guijas durante los periodos de reposo.

También debemos tener en cuenta otra difícil consideración en los ritmos de abrasión obtenidos por experimentos de laboratorio, y ensayar determinar a qué grado son directamente comparables con los ritmos de abrasión en los ríos. Sin duda, es conveniente elaborar otras comprobaciones independientes, tales como las proporcionadas por las mediciones de Plumley de los ritmos de reducción aguas abajo en los tamaños de las guijas de tipos de roca que difieren en resistencia a la abrasión. Finalmente, debe sobreentenderse que el razonamiento en sí debe ser continuamente comprobado en contra de la evidencia, y una línea de razonamiento debe ser comprobada contra otras para asegurarse de que a las ruedas mentales no se les ha deslizado una o dos levas.

Cuando al fin tenemos datos suficientes sobre los ritmos de una disminución progresiva en el tamaño de las guijas aguas abajo en los depósitos aluviales a lo largo de muchos tipos diferentes de ríos (considerados individualmente), será posible evaluar separadamente, en términos cuantitativos, el efecto de circunstancias especiales que influyen en los procesos de cambio en ríos graduados, en los ritmos de agraduación en los ríos agraduados y en las otras causas de la disminución progresiva aguas abajo en el tamaño de las guijas. Estas generalizaciones se aplicarán a todos los depósitos fluviales, tanto modernos como antiguos y aun puede ser que sepamos delinear consecuencias seguras en relación a las características hidráulicas de los ríos antiguos al comparar sus depósitos con los de los ríos modernos, en los cuales pueden medirse las características hidráulicas.

Este método racional de resolución de problemas es difícil y tortuoso, pero la historia de la ciencia lo hace más evidente, una y otra vez, de tal manera que si el sistema que se investiga es complejo, el

camino más largo, por el contrario, resulta ser el más corto para llegar a nuestra meta; muchos de los métodos empíricos abreviados resultan verdaderos callejones sin salida.

¿Hacia dónde estamos derivando, metodológicamente?

Desearía regresar ahora a algunas de las preguntas hechas al principio. ¿Debemos aceptar, como si fuera algo infalible, la declaración de Lord Kelvin de que todo lo que no sea establecido en función de los números no es ciencia? ¿Para ser miembros respetables de la comunidad científica, debemos cambiar, en extremo, nuestros hábitos acostumbrados de pensamiento, abandonando la aproximación geológica clásica para resolver problemas? ¿Hasta dónde nuestra aproximación es cualitativa, hasta dónde es vaga necesariamente y por lo tanto mala? ¿Ahora debemos actuar precipitadamente para cuantificar nuestras operaciones en la suposición de que todo lo que es cuantitativo necesariamente es riguroso y por lo tanto bueno?

¿Por qué ha llegado tan tarde el vaivén de lo cuantitativo? ¿Esto se debe a que nuestros primeros guías, hombres tales como Hutton, Lyell, Agassiz, Heim, Gilbert y David, intelectualmente se encontraban uno o dos grados abajo de sus contrapartes en la física clásica? Hay una explicación más razonable, bien conocida de los estudiantes de la historia de la ciencia. En cada campo de estudio la regulación del vaivén a lo cuantitativo y el grado actual de cuantificación son determinados principalmente por la materia de que se trata: el número y la complejidad de los componentes interdependientes implicados en sus sistemas, la relativa facilidad o dificultad para obtener los datos básicos, la susceptibilidad de estos datos para las expresiones numéricas y el grado al cual el tiempo es una dimensión esencial. La posición de la geología relativa a las ciencias básicas ha sido establecida con vigor característico por Walter Bucher (1941) en un trabajo que parece haber escapado a la atención de nuestros apologistas.

La física clásica fue cuantitativa desde que se inició como ciencia; progresó directamente de las observaciones hechas en el laboratorio bajo condiciones controladas hasta las abstracciones que fueron cuantitativas en sus comienzos. La cuantificación de la química se retrasó 100 años con respecto a la física. La química de la llama de una bujía es de un orden de complejidad del todo diferente al del de la física de la bola rodante de Galileo; la llama es sólo uno de muchos tipos de oxidación; y una oxidación es una de muchas maneras de combinarse las sustancias. Por lo tanto, aquí hubo una inmensa acumulación de datos cuantitavos y muchos descubrimientos menores —algunos de ellos accidentales, pero la mayoría basados

sobre investigaciones planeadas— y antes de ellos fue posible formular una generalización tan comprensiva como la ley de los pesos combinados.

Si el grado de cuantificación de sus leyes fuese una medida de madurez en una ciencia (el cual no lo es), la biología y la geología estarían 100 a 200 años retrasadas con respecto a la química. Antes de Bucher (1933) aun pudo formularse una serie tentativa de "leyes" para la deformación de la corteza terrestre, un enorme trabajo descriptivo que ha estado marchando bien. Sin duda, fue necesario conocer que los movimientos de la corteza *se efectuaron* antes de que alguien pudiera idear algunas explicaciones acerca de ellos. Sin embargo, una descripción adecuada, aun de una sola cordillera montañosa, demandó los mejores esfuerzos de dos generaciones de geólogos, expertos en diferentes especializaciones, trabajando tanto en el campo como en el laboratorio. Debido a que dos cordilleras no son iguales, la investigación de las leyes del crecimiento de las montañas necesita que aprendamos tanto como podamos lo concerniente a todas las cordilleras que podamos escalar y también de aquellas que ya no pueden ser escaladas; las cordilleras del pasado, las cuales deben ser reconstruidas lo mejor que se pueda mediante el estudio de sus tocones erosionados, son tan significativas como las del presente. Los ritmos de crecimiento y las edades relativas de las cordilleras del pasado y del presente son justamente tan importantes como su geometría; el estudiante de la mecánica de la deformación cortical debe pensar en forma semejante a un físico y a un historiador, formas de pensamiento muy distintas, difíciles de combinar. Es laborioso obtener las pruebas, que son principalmente circunstanciales y nunca se encuentran en número suficiente. Los modelos de laboratorio son útiles dentro de límites estrechos, lo que también ocurre en relación al mecanismo del emplazamiento de batolitos y el origen de los fluidos que forman los depósitos de minerales y el modelado de formas terrestres de todos los tipos y muchos otros verdaderos problemas geológicos.

Principalmente por estas razones es que muchos geólogos han estado absortos con los múltiples problemas de la descripción de objetos y procesos geológicos —*particularmente* objetos y procesos— y que han mostrado cierta aversión a generalizar aun en términos cualitativos. Debido a que muchas pruebas geológicas no pueden establecerse fácilmente con expresiones numéricas y debido a que muchos sistemas geológicos son tan complejos que algún asimiento cualitativo del problema debe anteceder al estudio cuantitativo efectivo, aun estamos menos inclinados a generalizar en términos cuan-

titativos. Todos sabemos la historia del cálculo de Lord Kelvin de la edad de la Tierra.

Estos objetos son familiares, pero merecen relatarse a causa de que explican por qué la geología en la actualidad se encuentra completamente en el vaivén de lo cuantitativo. Quizá habría sido mucho mejor si el vaivén hubiese comenzado muy al principio pero esto de ninguna manera es cierto. Un meteorólogo me ha comunicado que la meteorología estaría ahora más adelantada si no se hubiese precipitado tanto a lo cuantitativo —si hubiese existido una base observacional más amplia para la comprensión de lo cualitativo de sus sistemas excesivamente complejos antes de que fueran cuantificados—. De todos modos, es importante que reconozcamos que la cuantificación de la geología es un proceso evolutivo normal el que sigue más o menos un plan. La cuantificación proseguirá a paso acelerado; sin embargo, muchos de nuestros ultraconservadores pueden seguir sus huellas. He procurado señalar un peligro concomitante: conforme las mediciones aumentan en complejidad y refinamiento y a medida que las manipulaciones matemáticas de los datos se hacen más sofisticadas, estas mediciones y manipulaciones se hacen tan impresionantes que el investigador tiende a perder de vista su significado y propósito.[7]

Esta tendencia se comprende fácilmente. Ya han sido mencionados algunos de los rasgos de los métodos empíricos que llaman la atención. Sin embargo, en el mismo momento de hacer las mediciones, en un patrón fijo, proporcionan una firme sensación de ejecución. Si las mediciones son complicadas, implicando técnicas y aparatos excepcionales y una jerga especial, dan al investigador un sentimiento verdadero de pertenecer a un grupo selecto y que las fronteras retroceden. La presentación de los resultados se simplifica al utilizar la taquigrafía matemática, y aun cuando nueve de diez geólogos interesados no lean con facilidad dicha taquigrafía, el autor puede asegurar, que siete de los diez estarán impresionados. Es una ventaja o desventaja de esta taquigrafía dependiendo del punto de vista, que aquellas cosas que pueden expresarse con ecuaciones en

[7] El subtítulo de un artículo recientemente publicado por Krumbein (1962) "La cuantificación y la llegada de la computadora abre nuevas perspectivas en una ciencia tradicionalmente cualitativa" hace evidente el traslape de nuestros intereses. El artículo de este autor trata explícitamente con un método mecánico de elaboración de datos; el hecho de que no se haga mención del uso del razonamiento al probar la calidad y aplicabilidad de los datos al problema específico que se está investigando, sin duda, no significa que dicho autor piense un ápice menos del "método racional" de lo que yo lo hago. De igual manera, espero que nada de lo que he dicho o que olvidé decir debe interpretarse como que tengo aversión a los métodos mecánicos de analizar datos; tales métodos son indiscutiblemente buenos si ponen de manifiesto las relaciones que de otro modo no son evidentes o que de cualquier otra manera promuevan el progreso del método racional de investigación. Cuando los procesos mecánicos *reemplazan* los procesos del razonamiento y cuando un número *reemplaza* a la comprensión como objetivo, se introduce el peligro.

forma eficaz, aun arrogantemente, son tan absurdas que aturdirían aun al autor si tuvieran que deletrearse como palabras.

Como ya se ha expuesto al principio, el problema real no se circunscribe a enfrentar los métodos geológicos clásicos contra la cuantificación. La geología *es* principalmente cuantitativa y lo está siendo aún más en forma rápida y apropiada. Más bien el problema es el método racional contra el método empírico de resolución de problemas. La cuestión que me he propuesto elaborar es la de que si el objetivo es la comprensión del sistema investigado y si el sistema es complejo, entonces el método empírico resulta ser menos eficiente que el racional. Muchos rasgos geológicos —bordes de roca, depósitos de minerales, paisajes, segmentos del cauce de un río— presentan una casi infinita variedad de elementos, cada uno susceptible a muchas clases de mediciones. No podemos medirlas todas con cualquier tipo de precisión convencional —no se efectuarán ensayos ininteligibles—. Hace algunos años (1941) escribí que "el ojo y el cerebro, a diferencia de los lentes de una cámara y una placa sensible, sólo registran completamente lo que ellos solicitan". Jim Gilluly expresa en forma más suscinta el mismo pensamiento en palabras en el sentido de que muchas exposiciones suministran respuestas únicamente a las preguntas que son sometidas a ellas. Es solamente por la reflexión, como medimos nosotros, que podemos evitar registrar juntas en una libreta de campo, y después de un pequeño rato de estar promediando dimensiones al azar, manzanas y naranjas y canastos de manzanas y naranjas.

Entonces, en resumen, mi tesis es que el vaivén actual a lo cuantitativo en la geología, el cual es bueno, no debe necesariamente implicar un vaivén del método racional al empírico. Estoy seguro de que la geología es una ciencia, con diferentes tipos de problemas y métodos, pero en ningún sentido es menos madura que cualquiera otra ciencia; en realidad, las operaciones cotidianas del geólogo de campo son propias para ser más sofisticadas que aquellas de su contraparte —el experimentador— en física o química. Y estoy seguro que alguien que preste sus servicios como geólogo en la práctica, o en la investigación, o en la enseñanza y después como un físico o un químico o en cuanto a eso como un estadístico o como un ingeniero, no es capaz de subsistir su contrato.

El mejor y el más elevado aprovechamiento de la inteligencia de nuestros geólogos jóvenes es resolver las relaciones de causa a efecto en los sistemas geológicos con toda la ayuda que pueda conseguirse de las otras ciencias y de la ingeniería, y de aparatos mecánicos de todas clases, pero con la confianza básica en los procesos del razonamiento complejos descritos por Gilbert, Chamberlin y Johnson.

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES

REFERENCIAS

ALBRITTON, C. C., JR., 1961, Notes on the history and philosophy of science (1) A conference on the scope and philosophy of geology: J. Graduate Research Center, Southern Methodist Univ., vol. 29, no. 3, pp. 188–192.

BUCHER, W. H., 1933, The deformation of the earth's crust: Princeton, N. J., Princeton Univ. Press, 518 pp.

———, 1941, The nature of geological inquiry and the training required for it: Am. Inst. Mining Metall. Eng., Tech. Pub. 1377, 6 pp.

CHAMBERLIN, T. C., 1897, The method of multiple working hypotheses: J. Geol., vol. 5, pp. 837–848.

CONANT, J. B., 1951, Science and common sense: New Haven, Yale Univ. Press, 371 pp.

———, 1952, Modern science and modern man: New York, Columbia Univ. Press, 111 pp.

GARRELS, R. M., 1951, A textbook of geology: New York, Harper, 511 pp.

GILBERT, G. K., 1886, The inculcation of the scientific method by example, with an illustration drawn from the Quaternary geology of Utah: Am. J. Sci., vol. 31, (whole no. 131), pp. 284–299.

———, 1914, The transportation of debris by running water: U. S. Geol. Survey, Prof. Paper, 86, 263 pp.

———, 1917, Hydraulic-mining debris in the Sierra Nevada: U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 105, 154 pp.

HOLTON, G., 1952, Introduction to concepts and theories in physical science: Reading, Mass., Addison-Wesley, 650 pp.

JOHNSON, DOUGLAS, 1933, Role of analysis in scientific investigation: Geol. Soc. Am., B., vol. 44, pp. 461–494.

KRUMBEIN, W. C., 1960, The "geological population" as a framework for analysing numerical data in geology: Liverpool and Manchester Geol. J., vol. 2, pt. 3, pp. 341–368.

———, 1962, The computer in geology: Science, vol. 136, pp. 1087–1092.

KUENEN, P. H., 1959, Fluviatile action on sand, Part 3 of Experimental Abrasion: Am. J. Sci., vol. 257, pp. 172–190.

LEOPOLD, L. B., 1953, Downstream changes of velocity in rivers: Am. J. Sci., vol. 251, pp. 606–624.

———, and MADDOCK, T., JR., 1953, The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications: U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 252, 57 pp.

MACKIN, J. H., 1941, Drainage changes near Wind Gap, Pennsylvania; a study in map interpretation: J. Geomorphology, vol. 4, pp. 24–53.

———, 1948, Concept of the graded river: Geol. Soc. Am., B., vol. 59, pp. 463–512.

PLUMLEY, W. J., 1948, Black Hills terrace gravels; a study in sediment transport: J. Geol., vol. 56, pp. 526–577.

RUBEY, W. W., 1938, The force required to move particles on a stream bed: U.S. Geol. Survey, Prof. Paper 189-E, pp. 120–140.

SCHEIDEGGER, A. E., 1961, Theoretical geomorphology: Berlin, Springer-Verlag, 333 pp.

SIMPSON, G. G., ROE, ANNE, and LEWONTIN, R. C., 1960, Quantitative zoology: New York, Harcourt-Brace, 440 pp.

U. S. Geological Survey, 1960, Surface water supply of the United States, 1958; Part 6A, Missouri River Basin above Sioux City, Iowa: U. S. Geol. Survey Water-Supply Paper 1559, 434 pp.

WEISS, PAUL, 1962, Experience and experiment in biology: Science, vol. 136, pp. 468–471.

MASON L. HILL
Richfield Oil Corporation

Papel de la Clasificación en la Geología

Goethe dijo que la mineralogía le interesaba únicamente por dos razones: "La valoré por su gran utilidad práctica y entonces pensé que había encontrado un documento que aclararía la formación primitiva del mundo, de lo cual, la doctrina de Werner ya había dado esperanzas". Continuando con Goethe, concluyó que, "Puesto que esta ciencia se había tornado confusa por la muerte de este gran hombre, ya no seguí fomentándola, prefiriendo permanecer sereno con mis propias convicciones." (Oxenford, 1882).

Esta declaración hecha en 1827, refleja la reacción melancólica de Goethe al triunfo de la fructífera clasificación de las rocas de los Plutonistas sobre la menos fecunda de la escuela Neptunista de Werner. La declaración ilustra también el tema de este ensayo que se refiere a cuáles de las clasificaciones geológicas modernas deben ser revisadas a medida que aumentan los conocimientos, no sea que también resulten desilusionantes.

Ejemplos que indican que debe darse atención a la clasificación en la geología son comprobados por una primera reclasificación de las rocas sedimentarias (Grabau, 1904), por un simposio más reciente sobre la clasificación de los sedimentos (Pettijohn, 1948; Shrock, 1948; Krynine, 1948) y por un libro reciente sobre la clasificación de las rocas carbonatadas (Ham, 1962). En este ensayo se presenta una discusión de las clasificaciones de las fallas para explicar el papel de la clasificación en la geología, destacar la utilidad de las reglas de la nomenclatura y la clasificación y más particularmente para demostrar la necesidad de una reclasificación de las fallas con el fin de estimular el progreso en la geología estructural.

Clasificación y ordenación

De acuerdo con Webster, una clasificación es "un sistema de clases o grupos o una división sistemática de una serie de fenómenos

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES

afines". Para clasificar, uno debe reconocer diferencias y semejanzas así como graduaciones entre objetos, procesos y conceptos. Las clasificaciones son particularmente difíciles en la geología debido a que los objetos, procesos y conceptos geológicos son muchos y complejos; generalmente necesitan ser fijados en el espacio y en el tiempo y comúnmente implican la terminología de otras ciencias naturales. Además, puesto que a la ciencia histórica de la geología le conciernen los antecedentes de los fenómenos naturales, las clasificaciones más significativas son interpretativas y, por lo consiguiente, están sujetas a error tanto en la formulación como en la aplicación.

Aunque la clasificación se concibe generalmente como un agrupamiento sobre la base de las diferencias y las semejanzas, una buena clasificación está basada sobre las graduaciones de las características. La distribución de los fenómenos afines en las series graduacionales reciben el nombre de "ordenación" (Hempel, 1952 y 1959) o los tipos de clasificación de las variables continuas (Rodgers, 1950). La ordenación es preferida siempre que sea un medio posible de clasificación, debido a que las diferencias grandes o pequeñas pueden ser expresadas precisa y cuantitativamente. La ordenación puede ser comparada con la relación "más o menos" que con la "si o no", donde una clase (o miembro) tiene características que gradúan en otra, en vez de tener características separadas. Estas características graduacionales pueden expresarse en una forma relativa (antes o después, más grande o más pequeña, etc.) o cuantitativamente, en cuyo caso puede aplicarse el análisis matemático. La ordenación es un medio común de la clasificación en la geología (por ejemplo, series minerales isomorfas permiten la clasificación química cuantitativa o "afines del Eoceno" suministra una clasificación comparativa de la edad). A menudo es empleado el agrupamiento artificial en una serie graduacional para facilitar el trabajo científico y la comunicación (por ejemplo, arcilla, limo, arena y grava son clases de sedimentos útiles dentro de una serie graduacional de tamaños de clásticos). Algunas clases estarán separadas por diferencias no graduacionales en una clasificación, mientras que los miembros de estas clases pueden variar en forma graduacional y de esta manera estar sujetas a la ordenación. Por lo tanto, las rocas ígneas y sedimentarias generalmente no son graduacionales, mientras que los miembros de ambas clases comúnmente varían en forma graduacional. La ordenación se adapta especialmente para expresar relaciones cuantitativas en mineralogía, petrología, paleontología y otros campos geológicos, y también por medio de gráficas que muestran dos o más variables graduacionales.

Clasificaciones de fallas

La historia de la geología registra muchos ejemplos de clasificaciones infecundas así como fructíferas, como en el contraste de las clasificaciones de rocas Werneriana y Huttoniana, de las cuales hay análogas, pero que han ocurrido en casos menos dramáticos. Gran cantidad de términos geológicos son erróneos o comúnmente impropios y en realidad retardan el progreso científico. El uso de nombres que implican conocimientos que no existen es particularmente censurable. Tales términos genéticos como "turbiditas" y "estructuras por hundimiento" comúnmente se aplican a rasgos cuyos orígenes son inciertos. Esta práctica no solamente promulga el error sino que se opone al estudio ulterior de los objetos bajo investigación. Cuando las clasificaciones de las fallas ahora en uso implican conocimientos que generalmente no existen, debe sospecharse que retardan el progreso en la geología estructural.

La terminología del fallamiento probablemente se inició hace más de 150 años en las minas de carbón de Inglaterra con la frase "en falla" utilizada para expresar la terminación abrupta de capas de carbón. A medida que se ganaba experiencia al localizar las continuaciones desplazadas de estas capas, se descubrió que las estructuras planares a lo largo de las cuales había ocurrido evidentemente el movimiento, fueron causantes de las separaciones abruptas de las capas de carbón. Tales estructuras siguen conociéndose como fallas y aunque son definidas como fracturas a lo largo de las cuales se ha efectuado un movimiento relativo, el concepto no es completo sin hacer, cuando menos, una referencia a las relaciones geométricas entre los muros de las fallas. Conforme los geólogos delineaban la cartografía de otros terrenos, describían fallas con características diferentes y para distinguirlas, de acuerdo con estas características, introdujeron nombres como *normal*, *inversa*, *empuje* y *lateral* que fueron utilizados como una clasificación de fallas. Estos términos no solamente son comunes en la literatura geológica inglesa, sino que también tienen equivalentes en muchos otros idiomas y las estructuras que denotan son mostradas con símbolos convencionales en los mapas y secciones geológicos. Infortunadamente, estos términos no significan lo mismo para todos los geólogos, como se manifiesta por las variaciones en la definición descubiertas en glosarios, en libros de texto, en periódicos y en discusiones orales. Por ejemplo, Beloussov (1962) da una clasificación de fallas basada en los movimientos relativos y absolutos sin describir los criterios para la determinación del deslizamiento. Además, no presenta el concepto básico de la separación de la falla en contraste con el deslizamiento. En otra

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M G.

sección del libro a que se hace referencia, se da una clasificación genética de fallas sin ninguna indicación de cómo debe ser utilizada. El interés por la clasificación se ha demostrado en un número de discusiones recientes que incluyen aquellas de Boyer y Muehlberger (1960), Crowell (1959), Kelley (1960) y Kupfer (1960).

Es obvio que el sentido del movimiento en las fallas es de una importancia tectónica suprema. Es cierto, aunque no evidente, que los geólogos muy raramente pueden determinar el deslizamiento de la falla (movimiento relativo real). Generalmente también es cierto y no evidente de nueva cuenta, que los geólogos clasifican muchas fallas sobre la base de las separaciones (movimientos relativos aparentes), pero erróneamente utilizan los términos *normal, inversa, empuje* y *lateral* en relación al deslizamiento. Esta confusión entre los conceptos de separación y deslizamiento en las fallas, en el acostumbrado uso de estos términos, es el resultado de una clasificación imperfecta.

Aunque Reid, *et al.* (1913) hicieron mucho por normalizar y establecer una moderna nomenclatura sobre fallas, admitieron los términos *normal* e *inversa* con el fin de indicar ambiguamente ni el deslizamiento ni la separación. Gill (1941) en un esfuerzo del comité que reconoció las diferencias entre deslizamiento y separación, recomendó los nombres de las fallas "normal", "inversa", "derecha", "izquierda" y combinaciones de ellos (por ejemplo, "fallas inversa derecha"), basados sobre el deslizamiento relativo, pero sin proponer términos complementarios basados sobre las separaciones de las fallas (la prueba general de las fallas). Sin duda, una clasificación de fallas, lógica y progresiva, basada sobre reglas seguras para una nomenclatura y clasificación excelentes, aún no ha llegado.

Clasificación dual de fallas. Muchas fallas pueden reconocerse por las discontinuidades de los elementos geológicos planares o tabulares. En el diagrama adjunto (Fig. 1) se expone que el desplazamiento de un elemento geológico tabular con separación fija a rumbo (B) y separación a la inclinación (A), puede verificarse por deslizamientos desde (1) hasta el (5) y de esta manera demostrar que la separación (movimiento relativo aparente) y el deslizamiento (movimiento relativo real) son conceptos diferentes. El deslizamiento de la falla (sentido y cantidad de movimiento relativo) generalmente es indeterminable a menos que los rasgos geológicos lineares (por ejemplo, línea de intersección de una capa y una veta) estén dislocados. En tales casos y en algunos otros raros, es determinable el deslizamiento neto. Por lo tanto, cualquier clasificación de fallas

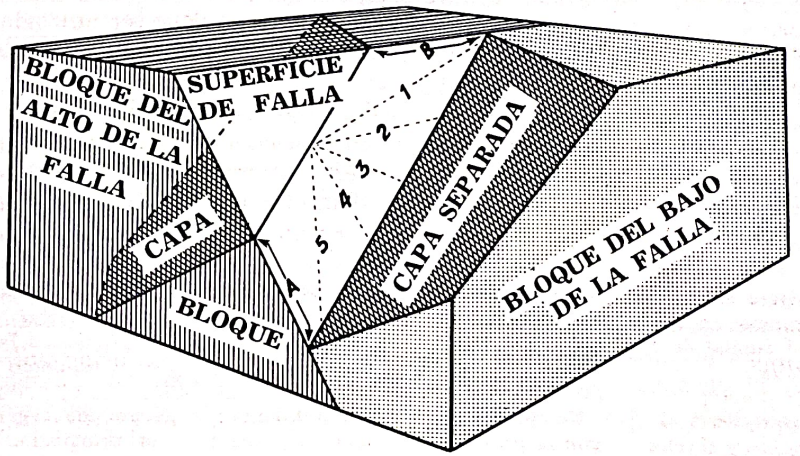


FIG. 1. Diagrama de una falla lateral izquierda normal. La inclinación de la separación A y el rumbo de la separación B son utilizados para la clasificación de esta falla basada en la separación (movimiento relativo aparente). La clasificación utilizada en base al deslizamiento (movimiento relativo real) se aplicaría como sigue, si fuese determinado aproximadamente el diagrama de deslizamientos: (1) falla inversa de deslizamiento lateral izquierdo; (2) falla de deslizamiento lateral izquierdo; (3) falla normal de deslizamiento lateral izquierdo; (4) falla normal de deslizamiento y (5) falla normal de deslizamiento lateral derecho

generalmente útil debe estar basada en la geometría de las separaciones (movimientos relativos aparentes) en relación a la superficie de falla; pero en los casos raros y tectónicamente importantes cuando el deslizamiento puede ser determinado, es más apropiada una clasificación cinemática. Estas dos situaciones geológicas naturales se invocan para dos clasificaciones de fallas (Hill, 1959) como las de la Tabla 1.

Estos tipos de falla se definen como sigue:

La *falla normal* es una superficie inclinada a lo largo de la cual ha habido una depresión relativa *aparente* del muro colgante o bajo de la falla.

La *falla inversa* es una superficie inclinada a 45° o más a lo largo de la cual ha habido una elevación relativa *aparente* del bajo de la falla.

La *falla por empuje* es una superficie inclinada menos de 45° a lo largo de la cual ha habido un movimiento relativo *aparente* del muro colgante o bajo de la falla sobre el muro de pie o alto de la falla.

TABLA 1

Separaciones	Fallas	Deslizamientos	Fallas
Separación al echado (medida al echado de la falla)	Normal Inversa Por empuje	Deslizamiento al echado (medido en el echado de la falla)	Deslizamiento normal Deslizamiento inverso Deslizamiento por empuje
Separación al rumbo (medida al rumbo de la falla)	Lateral derecha Lateral izquierda	Deslizamiento al rumbo (medido en el rumbo de la falla)	Deslizamiento lateral derecho Deslizamiento lateral izquierdo
Separaciones al rumbo y al echado (ambas medidas al rumbo y al echado de la falla)	Nombradas según la principal separación o con un término combinado apropiado (ejemplo, la falla normal lateral izquierda del diagrama)	Deslizamiento oblicuo (medido en la superficie de la falla)	Nombrada según la principal componente del deslizamiento o con término combinado apropiado (ejemplo, la falla inversa con deslizamiento lateral izquierda, del diagrama 1)

(Algunos investigadores de esta rama utilizan este término ya sea como un sinónimo, como un subordinado o como un término inclusivo de falla inversa, pero hay un buen caso en el cual las fallas inversas y por empuje tienen categorías iguales y separadas con el fin de distinguir las relaciones entre el acortamiento horizontal aparente y el levantamiento relativo aparente.)

La falla lateral derecha es una superficie a lo largo de la cual, vista en planta, el lado opuesto al del observador ha tenido un movimiento relativo *aparente* a la derecha. (Nótese que la palabra "lateral" no se utiliza en la clasificación dual de las fallas, mientras que la fallas lateral derecha y lateral izquierda son tan diferentes unas de otras como las fallas normales e inversas.)

La falla lateral izquierda es una superficie a lo largo de la cual el lado opuesto al del observador ha tenido un movimiento relativo *aparente* a la izquierda.

Falla con deslizamiento normal, falla con deslizamiento inverso, falla con deslizamiento por empuje, falla con deslizamiento lateral derecho y falla con deslizamiento lateral izquierdo son definidas de

acuerdo con estos términos basados en la separación, omitiendo la palabra "aparente" para demostrar que la información sobre el movimiento relativo *real* (deslizamiento) ha sido obtenido.

Estas dos series de nombres de fallas, una que las clasifica de acuerdo con el movimiento relativo *aparente* frecuentemente determinado (separaciones al rumbo y/o al echado) y la otra por el movimiento relativo *real* ocasionalmente determinado (las componentes del deslizamiento al rumbo y/o al echado), son necesarias para una clasificación de fallas extensa y práctica. La gran ventaja de la doble clasificación es que la connotación del *deslizamiento* (movimiento relativo real) sobre una superficie de falla se evita cuando únicamente se conoce la *separación* (movimiento relativo aparente). Aunque los términos basados en la separación pueden emplearse a menudo, los términos basados en el deslizamiento tienen un mayor significado tectónico y, por lo tanto, serían utilizados tanto como fuera posible.

Reglas de la nomenclatura y clasificación dual de fallas

Las reglas que suministran una buena clasificación científica deben formularse y aplicarse. Sin embargo, deben considerarse primero las reglas de la nomenclatura (el sistema de nombres utilizado en una clasificación). Son propuestas las siguientes reglas modificadas en parte por Wadell (1938), presentándose, además, la aplicación de cada una de ellas a la clasificación dual de fallas.

REGLA 1. Un nombre debe ser entendido y usado ampliamente por los científicos o debe ser tan apropiado que sea fácilmente entendido y usado con amplitud.

Aplicación. Los nombres de fallas basados en la separación son ampliamente usados por los geólogos, pero también frecuentemente los aplican en el sentido que denoten deslizamiento. Los términos *rompimiento* o *transcurrente* son frecuentemente usados en lugar de *lateral*; pero, en mi opinión, es objetable el término rompimiento a causa de su implicación dinámica; transcurrente implica impropiamente la transección de otras estructuras; y ambos términos se refieren al deslizamiento sin el beneficio de los términos complementarios que se usan únicamente cuando se conocen las separaciones. Se requiere un conocimiento más amplio de la diferencia entre la separación y el deslizamiento antes de que los nombres de las fallas sean entendidos generalmente.

REGLA 2. Un nombre debe ser descriptivo o explicatorio. Si la significación (tal como la génesis) del objeto, de la acción o del concepto es conocida en forma adecuada, es de desearse un nombre que exprese tal

significación. Sin embargo, si existe una duda acerca de esta significación, o si el término puede ser utilizado cuando la duda existe, es mucho mejor usar un término simplemente descriptivo. Un nombre que combine lo descriptivo y lo explicatorio, probablemente resultará ambiguo por lo que deberá evitarse. Si es posible, un nombre descriptivo debe estar sujeto a la definición operacional (Bridgman, 1927), por lo cual otros pueden verificarse por la reobservación o por la experimentación.

Aplicación. Los nombres de las fallas más bien son descriptivos que explicatorios, aunque *normal* no es racional y *empuje* es dinámico más que geométrico. *Lateral derecho* o *lateral izquierdo* son palabras descriptivas particularmente buenas para movimientos oblicuos aparentes, así como deslizamiento lateral a la derecha o deslizamiento lateral a la izquierda lo son para movimientos oblicuos relativos. Estos nombres también expresan apropiadamente importantes diferencias geométricas (o cinemáticas). Kelley (1960) y otros han objetado el nombramiento de las fallas en base a las separaciones, debido a que pueden variar a lo largo de la falla (en planta o en sección). Evidentemente, en algunos casos, debido a las complicadas situaciones estructurales o estratigráficas, los términos basados en la separación caracterizan únicamente a los segmentos locales de la falla. Pero en muchos de estos casos tales variaciones de separación suministran pruebas para el deslizamiento de la falla. Por ejemplo, las separaciones que resultan del desplazamiento de un anticlinal pueden indicar, con toda claridad, el deslizamiento al echado, el deslizamiento al rumbo o alguna combinación de ambos. En estos casos la falla puede ser nombrada de acuerdo con el deslizamiento, el cual es descriptivo de la cinemática y en esta forma es tectónicamente más significativo que un nombre basado solamente sobre la separación.

REGLA 3. Si es posible, un nombre debe ser una palabra común, con palabras modificantes cuando sean requeridas; debe aproximarse a la definición de una clase, con modificadores que permitan distinguir entre los miembros de la misma. Los nombres y términos propios que combinan raíces de diferentes orígenes lingüísticos son permitidos solamente si son más prácticos. Cuando un nombre común o vernáculo se utiliza en un sentido científico, debe definirse su significado. Es mucho mejor adoptar un nuevo nombre definido con precisión que utilizar un nombre común cuyo significado es inexacto.

Aplicación. Los nombres de las fallas son definidos precisamente con sustantivos comunes y con adjetivos apropiados. Gill (1935) y otros han sugerido que el adjetivo calificativo "separación" debe añadirse al término falla cuando no ha sido determinado el deslizamiento. Sin embargo, la experiencia indica que este adjetivo determinativo raramente puede ser anexado, mientras que si el deslizamiento

ha sido determinado el autor estará impaciente para añadir la palabra "deslizamiento" al nombre de la falla como prueba de una información adicional. Kelley (1960) ha sugerido que el deslizamiento derecho e izquierdo puede ser sustituido por el deslizamiento lateral derecho e izquierdo, respectivamente. Si estos términos son aceptados, debe ser lógico cambiar los términos basados en la separación a falla derecha y a falla izquierda o fallas con separación a la derecha o a la izquierda. Además, si el término *separación* fuese utilizado en la clasificación dual, también sería lógico referirlo a las fallas de separación normal, inversa y por empuje. Estas y otras sugestiones razonables para los nombres de las fallas, incluyendo rompimiento y transcurrente, necesitan ser aceptadas o rechazadas de tal manera que pueda emplearse una serie de nombres. Deben solicitarse las recomendaciones de un comité internacional debidamente elegido para establecer normas.

REGLA 4. Un nombre debe ser racional y apropiado a la ciencia implicada, aunque uno nuevo no debe utilizarse si existe uno antiguo apropiado de la misma ciencia o si es aprovechable uno que pueda aceptarse de otra ciencia. Sin embargo, son preferibles los términos recientes y bien definidos a los antiguos que son imprecisos o de los que se ha hecho un uso abusivo.

Aplicación. Los nombres de las fallas son, en el contexto, racionales y apropiados a la ciencia de la geología. No se usan nuevos nombres en la clasificación dual de las fallas aunque se emplean definiciones más precisas y restringidas. Si los nombres no estuviesen en uso común, podrían ser preferidos a los nombres recientes para las clasificaciones basadas en la separación y en el deslizamiento.

REGLA 5. Un nombre extranjero debe usarse cuando sea apropiado, pero a menos que sea una palabra común debe usarse en su forma más bien original que en su forma traducida.

Aplicación. Los nombres extranjeros no se usan en las clasificaciones aunque algunos lo son en forma apropiada en la terminología de las fallas.

REGLA 6. Los términos simbólicos y/o mnemotécnicos pueden usarse si están definidos con propiedad y si son más prácticos que descriptivos.

Aplicación. Puesto que los términos son pocos e insuficientes, no se justifican los simbólicos o los mnemotécnicos.

REGLA 7. No debe dársele al mismo objeto dos nombres diferentes ni a dos objetos diferentes dárseles el mismo nombre. Sin embargo, una cosa que tiene dos nombres es menos objetable que dos cosas diferentes con el mismo nombre.

Aplicación. Los nombres de las fallas de la clasificación dual no son ambiguos. Si el deslizamiento es determinado, solamente se utiliza la nomenclatura basada en el deslizamiento, aun cuando la falla haya sido clasificada previamente de acuerdo con la separación. El uso común de una serie simple de términos de fallas en el sentido del deslizamiento cuando solamente se conoce la separación, es ambiguo y se ha conjurado para impedir la búsqueda de los criterios para determinar el deslizamiento de la falla. Por ejemplo, el hábito de utilizar "falla inversa" puede significar que ya se conoce tanto el deslizamiento como la separación inversos. Este hábito ha alentado las interpretaciones tectónicas mal fundadas, y generalmente ha retardado el progreso en la geología estructural. El uso de la nomenclatura dual puede impedir la ambigüedad y favorecer la determinación del deslizamiento de la falla.

REGLA 8. Un nombre debe representar un grupo de cosas, procesos o conceptos, y, de ser posible, debe ser una parte de un grupo más grande (por ejemplo, el granito representa un grupo mineralógico y textural de rocas y también es una clase de las rocas ígneas.)

Aplicación. Los nombres de la clasificación dual representan grupos de fallas, y las fallas no son el único grupo de estructuras terrestres.

Reglas de clasificación y clasificación dual de fallas

REGLA A. Una clasificación (incluyendo su nomenclatura) debe ser apropiada al conocimiento del tema y para el propósito para la que fue ideada.

Aplicación. La clasificación dual de fallas es apropiada para el conocimiento común del fallamiento y para los propósitos para los cuales fue ideada. Hay otras maneras de clasificar las fallas y, para los efectos prácticos especiales, algunas de ellas pueden resultar mejores que la clasificación dual. Por ejemplo, fallas al plano de estratificación, al echado, al rumbo y oblicuas, o fallas longitudinales y transversales, o fallas epi-anticlinales proporcionan grupos de acuerdo con las estructuras asociadas. Pero puesto que tales clasificaciones no están basadas sobre las características de las fallas mismas, no pueden considerarse como clases de fallas significativas. Aunque las clasificaciones basadas sobre orígenes supuestos (Clark, 1943) o sobre campos de esfuerzo supuestos (Anderson, 1951) han tenido bastante aceptación, parece que las clasificaciones genéticas o dinámicas son o demasiado teóricas o demasiado subjetivas para el conocimiento actual de la geología estructural (Hill, 1947). La clasificación dual permite la clasificación apropiada de muchas fallas sobre la base del movimiento relativo aparente (separación) y además suministra una clasificación para fallas cuando está determinado el movimiento relativo real (deslizamiento.)

REGLA B. Una clasificación debe ser comprensiva y exclusiva. En estas condiciones las categorías de la clasificación deben ser colectivamente completas e individualmente separadas.

Aplicación. La clasificación es extensa y exclusiva. Están incluidos todos los casos reconocidos de fallas por separación y por deslizamiento y las cinco categorías racionales en cada una (normal, inversa, por empuje y lateral derecha e izquierda) son mutuamente exclusivas.

REGLA C. Una clasificación debe ser flexible. El ajuste debe ser hecho por la intercalación de nuevos términos y por la expansión de los existentes. La clasificación basada sobre la ordenación de las características graduacionales debe utilizarse cuando sea posible, debido a que se permite una precisión más grande en la diferenciación sin impedir un amplio agrupamiento.

Aplicación. La clasificación es tal que son nombrados todos los tipos principales de fallas, pueden expresarse todos los tipos de combinación (por ejemplo, falla normal lateral izquierda) y están incluidos todos los componentes posibles de separación o deslizamiento. Ninguna connotación desplegada de los términos puede ser concebida hasta que las características dinámicas y/o genéticas de las fallas sean reconocidas frecuentemente. La ordenación de todas las graduaciones de rumbo y/o echado de la falla, todas las variaciones de separación y todas las variaciones en el sentido del deslizamiento, pueden expresarse sin las categorías de la clasificación dual. Por ejemplo, aunque las fallas normales e inversas (o de deslizamiento normal y de deslizamiento inverso) son graduacionales a través de la vertical, la ordenación a través de una superficie vertical no es una buena clasificación debido a que este echado divide la extensión horizontal aparente (o real, si se conoce el deslizamiento) del acortamiento a través de la falla. Por otro lado, la ordenación del echado de la falla dentro de una clase es significativa con el fin de obtener la proporción de levantamiento relativo a cualquier extensión o acortamiento.

REGLA D. Una clasificación no debe ser ni descriptiva ni teórica. Las combinaciones de los elementos descriptivos y teóricos conducen a la confusión. A medida que la ciencia progresa las clasificaciones teóricas se hacen más útiles.

Aplicación. La clasificación dual de fallas está basada totalmente en los elementos descriptivos de separación (geométricos) o deslizamiento (cinemáticos) aunque es posible que los adelantos

futuros en el conocimiento del fallamiento puedan permitir clasificaciones dinámicas o aun genéticas.

Conclusiones

En la geología, así como en las otras ciencias, el progreso es facilitado por una nomenclatura precisa y una clasificación lógica. Todas las clasificaciones geológicas deben ser examinadas en detalle a la luz del conocimiento común y corriente. Para estimular los progresos en su ciencia, el geólogo debe estar tan deseoso de revisar sus clasificaciones como estar tan dispuesto a hacer nuevas observaciones y nuevas interpretaciones. Las reglas aquí propuestas para nombrar y clasificar los fenómenos geológicos se cree que son útiles, aunque no pueden ser completas o mutuamente exclusivas, no son de igual importancia o alcance y pudieran ser expresadas en términos diferentes.

Las clasificaciones actuales de fallas han retardado el progreso en la geología estructural a causa de que los nombres que frecuentemente se les da a las fallas, a menudo implican falsamente un conocimiento del deslizamiento de la falla. La clasificación dual aquí recomendada es análoga a la clasificación dual de estratos en categorías litoestratigráficas y cronoestratigráficas. En la estratigrafía el progreso fue estimulado por una clasificación que permitió distinguir entre unidades litológicas y cronológicas. Una clasificación que haga distinciones entre los conceptos de separación y deslizamiento de fallas, podría igualmente estimular el progreso en la geología estructural.

REFERENCIAS

Anderson, E. M., 1951, The dynamics of faulting and dyke formation with applications to Britain, 2nd ed.: London, Oliver and Boyd, 206 pp.

Beloussov, V. V., 1962, Basic problems in geotectonics (Am. Geol. Inst. translation): New York, McGraw-Hill, 816 pp.

Boyer, R. E., and Muehlberger, W. R., 1960, Separation versus slip: Am. Assoc. Petroleum Geol., B., vol. 44, pp. 1938–1939.

Bridgman, P. W., 1927, The logic of modern physics: New York, Macmillan, 228 pp.

Clark, S. K., 1943, Classification of faults: Am. Assoc. Petroleum Geol., B., vol. 27, pp. 1245–1265.

Crowell, J. C., 1959, Problems of fault nomenclature: Am. Assoc. Petroleum Geol., B., vol. 43, pp. 2653–2674.

Gill, J. E., 1935, Normal and reverse faults: J. Geol., vol. 43, pp. 1071–1079.

———, 1941, Fault nomenclature: Roy. Soc. Canada, Tr., 3rd ser., vol. 35, sec. 4, pp. 71–85.

Grabau, A. W., 1904, On the classification of sedimentary rocks: Am. Geologist, vol. 33, pp. 228–247.

Ham, W. E., ed., 1962, Classification of carbonate rocks, a symposium: Am. Assoc. Petroleum Geol., Mem. 1.

Hempel, C. G., 1952, Fundamentals of concept formation in empirical science: Internat. Encyclopedia of Unified Sciences, vol. 2, no. 7, Chicago, Univ. Chicago Press, 93 pp.

———, 1959, Some problems of taxonomy: unpublished manuscript.

Hill, M. L., 1947, Classification of faults: Am. Assoc. Petroleum Geol., B., vol. 31, pp. 1669–1673.

———, 1959, Dual classification of faults: Am. Assoc. Petroleum Geol., B., vol. 43, pp. 217–221.

———, 1960, Fault symbols: GeoTimes, vol. 5, no. 3, pp. 23–24.

Kelley, V. C., 1960, Slips and separations: Geol. Soc. Am., B., vol. 71, pp. 1545–1546.

Krynine, P. D., 1948, The megascopic study and field classification of sedimentary rocks: J. Geol., vol. 56, pp. 130–165.

Kupfer, D. H., 1960, Problems of fault nomenclature: Am. Assoc. Petroleum Geol., B., vol. 44, pp. 501–505.

Oxenford, John, 1882, Conversations of Goethe: London, George Bell and Sons.

Pettijohn, F. J., 1948, A preface to the classification of sedimentary rocks: J. Geol., vol. 56, pp. 112–117.

Reid, H. F., Davis, W. M., Lawson, A. C., and Ransome, F. L., 1913, Report of the Committee on the Nomenclature of Faults: Geol. Soc. Am., B., vol. 24, pp. 163–183.

Rodgers, John, 1950, The nomenclature and classification of sedimentary rocks: Am. J. Sci., vol. 248, pp. 297–311.

Shrock, R. R., 1948, A classification of sedimentary rocks: J. Geol., vol. 56, pp. 118–129.

Wadell, Hakon, 1938, Proper names, nomenclature and classification: J. Geol., vol. 46, pp. 546–568.

CHARLES A. ANDERSON
U. S. Geological Survey

Simplicidad en la Geología Estructural[1]

En 1951 declaré que "hasta que no se hagan correlaciones más precisas de las rocas del Precámbrico más antiguo, basadas en la radiactividad u otros métodos, la explicación más *simple* es que en Arizona ha ocurrido un solo periodo orogénico correspondiente a la Revolución Mazatzal de Wilson, durante el comienzo del Precámbrico." (Anderson, 1951, Pág. 1346; itálicas añadidas.) Esta referencia explícita para el uso de la simplicidad en la correlación de los acontecimientos estructurales y en la reconstrucción de la geología histórica, condujo al Presidente del Comité de Aniversario solicitar un ensayo sobre la simplicidad en la geología estructural.

Principio de la simplicidad

El principio de la simplicidad ha sido llamado la navaja de Occam (o de Ockham), el principio de la parsimonia o el principio de la economía. Son innumerables y variadas las alusiones a la simplicidad en la literatura, hechas con cuidado y sutileza. Un resurgimiento en el interés de este principio entre los filósofos de la ciencia ha sido parcialmente inspirado por el trabajo de Nelson Goodman.

> Toda actividad científica tiene valor para la invención y elección de sistemas de hipótesis. Una de las consideraciones primarias que guían este proceso es el de la simplicidad. Nada podría haber más equivocado que la idea tradicional de que debemos lograr primero un sistema verdadero y después, por elegancia, buscar uno que sea simple. Inevitablemente nos concierne la simplicidad en cuanto nos concierne todo el sistema, el cual es perfeccionado al grado en que son simplificados el vocabulario básico y la serie de los primeros principios usados en relación con el tema de que se trata. Cuando la simplicidad de base tiende a anularse hasta cero

[1] Doy gracias a mis colegas, James Gilluly y Walter S. White por su ayuda y por su crítica al revisar el presente ensayo.

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M G.

> —esto es, cuando ningún término o principio se deriva de cualquiera de los otros— los sistemas tienden a anularse hasta cero. La sistematización es la misma cosa que la simplificación de base (Goodman, 1958, Pág. 1064.)

Guillermo de Occam, conocido como *Doctor Invincibilis* y *Venerabilis Inceptor*, nació alrededor del año 1300 y se hizo miembro de la orden Franciscana durante su juventud. Fue un guía intelectual en el periodo que presenció la desintegración del realismo escolástico antiguo y la elevación del escepticismo teológico. La famosa sentencia que se le atribuye, *"Entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem"*, apareció en casi todos los libros de lógica desde la mitad del siglo XIX. Se duda que el "Doctor Invencible" haya utilizado estas palabras (Thorburn, 1918), aunque sí utilizó algunas similares como *Frustra fit per plura quod potest fieri per pauciora* (Laird, 1919, Pág. 321). La palabra "navaja" ahora se utiliza a menudo sin especial referencia a la teoría escolástica de las entidades, y Laird cree que la forma precisa en la que Occam la establece no es a propósito.

Russell (1929, Pág. 113) establece que en la navaja de Occam, "las entidades no deben multiplicarse sin necesidad", la cual es una máxima que inspira todo el filosofar científico y que al tratar cualquier tema, uno debe descubrir qué entidades están implicadas en forma innegable y establecer todo en función de ellas.

De acuerdo con Kemeny (1953, Pág. 391) el concepto de simplicidad es un tema en controversia en la filosofía de la ciencia. Una escuela cree que éste implica una suposición hacia la simplicidad en la naturaleza, mientras que otros la justifican como una cuestión de conveniencia, algo así como "un plan de ahorrar trabajo". Jevons (1883, Pág. 625) objetó, hasta la generalización, que las leyes de la naturaleza poseen la perfección que atribuimos a las formas y relaciones simples y sugirió que "La simplicidad naturalmente se conforma a una mente de poderes limitados, pero no a una mente infinita donde todas las cosas son simples".

Mill (1865, Pág. 461) recusó la creencia de Hamilton de que "La naturaleza nunca trabaja con instrumentos más complejos de los que le son necesarios", estableciendo que "nosotros sabemos bien que la Naturaleza en muchas de sus operaciones, trabaja con medios de una complejidad tan extrema que son un obstáculo casi insuperable en nuestras investigaciones". Mill (1865, Pág. 467) creyó que no se justifica que rechacemos una hipótesis en el supuesto de que es complicada, pero "La ley de la parsimonia" no necesita de tal protección; no se apoya en suposiciones por lo que toca a las formas o procedimientos de la Naturaleza. Es un precepto puramente lógico; un caso del amplio principio práctico, no para

creer en cualquier cosa de la que no hay ninguna evidencia... La suposición de una causa superflua, es una creencia sin evidencia". Mill (obra citada) enfatiza que el principio que prohíbe la suposición de un hecho superfluo, prohíbe una ley superflua y "Por lo tanto, la regla de la parsimonia, ya sea que se aplique a hechos o teorías, no implica ninguna teoría concerniente a las propensiones o procedimientos de la Naturaleza".

Feuer (1957, Pág. 121), al igual que Mill, destacó que el principio científico de la simplicidad no se apoya en la suposición de que las leyes de la naturaleza son simples, y señaló que la simplicidad de la naturaleza ha tenido una larga historia filosófica, a la cual llamaría *principio metacientífico de la simplicidad*, para distinguirlo del principio científico metodológico de la navaja de Occam. La comprobabilidad es el elemento importante en la navaja de Occam; el principio de la simplicidad es de esta manera una base directa para rechazar teorías si no son verificables (Feuer, 1957, Pág. 115). La teoría verificada es la más simple debido a que cada componente innecesario es un detalle no verificado.

Demos (1947) expresa algún escepticismo acerca del uso de la simplicidad y sugiere que el filósofo científico prueba de evadir la carga del razonamiento falaz por la introducción del principio de la simplicidad, lo cual le permite elegir entre varias de las teorías compatibles con los hechos observados. Entonces el científico selecciona la teoría que explica el mayor número de fenómenos con el mínimo de suposiciones. Bridgman (1961, Pág. 10) consideró la navaja de Occam:

> ...como un principio intelectual principal,... Probaré de seguirlo hasta lo último. Se observa casi con miedo cuán vanamente se menosprecia en muchos juicios... En lo personal, me parece que satisface el profundo instinto de un buen artífice intelectual. Quizá una de las razones que más obligan a adoptarla es que por medio de ello uno ha dado tan pocas prendas al futuro como ha sido posible y se ha conservado la flexibilidad máxima para tratar con hechos o ideas no anticipadas.

Simplicidad y geología

Una edición reciente de "Philosophy of Science" contiene un simposio sobre la simplicidad, del cual sólo un trabajo menciona su aplicación a la geología. Barker (1961, Pág. 164) revive el antiguo problema del significado de los fósiles: ¿Son restos de organismos que realmente existieron en la Tierra hace millones de años o fueron colocados ahí por el Creador para probar nuestra fe? Barker concluyó que a menos que exista una prueba independiente en favor de un Creador, la teoría simple es que las plantas y los animales existieron

en el pasado en circunstancias similares a aquellas en que ahora los encontramos. Esto conduce al uniformismo, un tema que se discute en cualquier parte de este volumen.

Un excelente ejemplo geológico de simplicidad nos lo ofrece Woodford (1960) al discutir la magnitud del deslizamiento al rumbo en la falla de San Andrés. En 1906, el deslizamiento lateral derecho a lo largo de esta falla fue de 6.60 m en el centro de California, y en la parte meridional del mismo estado el corrimiento de los ríos indica un movimiento lateral derecho de varios cientos de metros durante el Cuaternario, aunque en los movimientos anteriores a este periodo, es necesario distinguir entre separación y deslizamiento. Una sucesión estructuralmente compleja de granodiorita de rocas del Paleoceno y Mioceno, al norte de las Montañas de San Gabriel, están separadas en tal forma que es necesario considerar un deslizamiento lateral derecho de 48 km, que se inició desde la mitad del Terciario. Los desplazamientos pudieron haber sido aún más grandes (se ha sugerido una variación de 256 a 480 km), pero Woodford prefiere una hipótesis de trabajo que incluya algún deslizamiento al echado, y así limita a 48 km el deslizamiento al rumbo de esta falla lateral derecha. "La elección tentativa de deslizamientos cortos, si es que ellos harán el trabajo, es un ejemplo del uso del principio *Disyunciones mínimas, disyunciones óptimas*. Esta regla puede considerarse como una regla cuantitativamente parsimoniosa, relativa a la ley de Ockham: *Entia non sunt multilicanda praeter necesitatem*". (Woodford, 1960, Pág. 415.)

La preparación de un mapa geológico es la etapa esencial en la geología estructural y una de las primeras es la construcción de la sucesión estratigráfica. La ley de la superposición es vital para el éxito del estudio. Aun cuando tengamos una estratigrafía de "tortillas en capas", Albritton (1961, Págs. 190-191) ha señalado que no se manifiesta con toda claridad cómo opera el principio de la simplicidad en la geología:

> ...dadas dos mesas contiguas constituidas de tres formaciones concordantemente arregladas en una sucesión similar del fondo a la cima. Sin pruebas de lo contrario, muchos de los estratígrafos reconocerían únicamente tres formaciones en total, quizá fundándose que es en vano habérnoslas con más, ya que podemos habérnoslas con menos. Pero si una columna de tres formaciones es más simple que una de seis, ¿no resultaría todavía más simple amontonar sin orden las tres formaciones en un grupo y tener, entonces, una sola entidad?

Por supuesto que la respuesta es que si así se hace se pierde información. El propósito del estudio geológico tiene una importante relación sobre la elección de las unidades estratigráficas. Fundamentalmente, la selección se hace concentrando la atención en el ambiente de la depositación de los sedimentos para indicar las diversas etapas de la historia geológica. Para las interpretaciones estructurales, la delineación de las unidades delgadas puede ayudar al mapa geológico para aclarar la estructura. El objetivo es usar el mapa como un medio de poner de manifiesto, hasta donde sea posible, los elementos que están en relación con la geología histórica y la estructura, y algo acerca de las bases que han servido para verificar estos elementos.

En regiones de estructura compleja, particularmente si las rocas no son fosilíferas y están plegadas en forma isoclinal, la estratigrafía y la estructura son determinadas, en conjunto, por medio de la cartografía de las unidades litológicas características, ya sea que se trate de capas, zonas o formaciones. Los elementos estructurales y los datos en el sentido de que las cimas de las capas están ahora a la vista deben ser examinados con toda diligencia en todas las exposiciones. En esta forma la estratigrafía y la estructura deben descubrirse juntas y la interpretación final resulta de la integración de ambas. La interpretación puede ser compleja, pero el principio de la simplicidad deberá seguirse si ninguno de los hechos inverificables son esenciales a la interpretación. En la práctica real hay pocas situaciones en las que alguna interpretación geológica no requiera algunas suposiciones no verificadas y en general, el uso del principio de la simplicidad implica la aceptación de la interpretación que tiene el máximo de hechos verificables y un mínimo de suposiciones.

La predicción es una faceta importante de la geología estructural; al hacer la cartografía, el geólogo de campo a menudo predice lo que encontrará en la siguiente cresta, valle o cordillera montañosa. En un sentido, ésta es una prueba de campo de las interpretaciones que nacen en la mente del geólogo. Sin duda es una experiencia frecuente del geólogo que está levantando la cartografía de una región de geología compleja, descubrir que sus predicciones son erróneas; la geología puede ser más compleja que la interpretación del momento. Sin embargo, ésta es una parte de la acumulación de los datos de campo y de ninguna manera está en conflicto con el uso de la simplicidad en la interpretación final. La predicción es el producto final de muchos estudios en geología estructural al proponer programas de exploración, y en la búsqueda de nuevos depósitos de minerales y acumulaciones de petróleo.

Podrían citarse muchos ejemplos donde las exposiciones primitivas de la historia geológica de una región en particular son menos complejas que las explicaciones ulteriores basadas en los estudios de campo adicionales. Probablemente muchos geólogos aceptarían como axiomático que la nueva información conduce a una historia

más compleja. En un sentido, es una señal de progreso la forma como construimos ahora sobre la experiencia de aquellos quienes nos antecedieron y que trabajaron sobre problemas similares. Esto es de esperarse, particularmente en regiones donde las rocas han sido deformadas intensamente por la actividad tectónica del pasado. La historia geológica se hace más compleja cuando edificamos un almacén de "elementos verificables" aun cuando cada información histórica subsiguiente no introduzca entidades más allá de las necesarias.

En regiones de densa vegetación y de gruesa cubierta de suelos que ocultan a las rocas, es un proceso que retarda la reunión de los hechos necesarios para reconstruir la historia de la estratigrafía y de la estructura. Las primeras interpretaciones probablemente son simples a causa de lo insuficiente de los datos. La hechura de trincheras, perforaciones y estudios cuidadosos de las saprolitas pueden, en cierto momento, ayudar a los elementos verificables a dar una historia más completa y más compleja.

Lo más antiguo del Precámbrico en Arizona

Trataré de discutir con mayor detalle la geología del Precámbrico más antiguo, en Arizona, como un ejemplo de las operaciones del principio de simplicidad en la geología estructural. Por el año 1951 se hizo suficiente cartografía geológica en las rocas más antiguas del Precámbrico de las áreas del Gran Cañón, Globe-Miami, Montañas Mazatzal, Montañas Little Dragoon, Bagdad y Prescott-Jerome para indicar que sólo puede reconocerse en cada una de estas áreas un periodo de orogenia, seguido por la intrusión de rocas graníticas.

La tentación natural es suponer que las orogenias en estas cinco áreas separadas ocurrieron al mismo tiempo, a causa, particularmente, del paralelismo general de los pliegues que ha permitido determinar los lineamientos generales, y Wilson (1939) ha nombrado a esta amplia probable perturbación orogénica, la Revolución Mazatzal. Desde un punto de vista puramente académico, uno podría objetar esta conclusión, pues es bien sabido que el Precámbrico cubre un inmenso periodo de tiempo por lo que resultaría sorprendente si en Arizona hubiera ocurrido un solo periodo orogénico durante el principio del Precámbrico. Hinds (1936) ha sugerido que en Arizona han ocurrido dos periodos de orogenia y dos de invasión granítica antes del depósito del Precámbrico más joven de las series del Gran Cañón y el grupo Apache, marcando la cuarcita Mazatzal el periodo de sedimentación entre estas orogenias. Debido a que no se han encontrado discordancias angulares positivas entre la cuarcita Mazatzal y el esquisto Yavapai, existe alguna duda en relación a la validez de este periodo orogénico más antiguo y de invasión granítica. (Anderson, 1951, Pág. 1346; en consecuencia de esto observó la sentencia citada en el párrafo introductorio.)

Philip M. Blacet del U. S. Geological Survey, recientemente hizo al sur de Prescott la cartografía de un basamento de gneis granodiorítico más antiguo que la Serie Yavapai. El gneis subyace a un conglomerado basal que contiene bloques angulosos de la granodiorita y abundantes cantos de aplita bien redondeados. El conglomerado basal gradúa hacia arriba a una arenisca feldespática, pizarra gris, conglomerado de quijas y capas de areniscas tobáceas riolíticas (ahora recristalizadas a un esquisto de cuarzo y sericita) de la Formación Texas Gulch, descrita por Anderson y Creasey (1958, Pág. 28) posiblemente como la formación más antigua en el Grupo Alder de la Serie Yavapai. En forma similar ocurren pizarra, conglomerado de guijas y arenisca tobácea en la sección tipo del Grupo Alder en las Montañas Mazatzal (Wilson, 1939, Pág. 1122) y estas rocas fueron deformadas durante la Revolución Mazatzal de Wilson. Las relaciones discordantes entre la Formación Texas Gulch y el gneis granodiorítico al sur de Prescott son importantes como prueba de la existencia de una roca granítica más antigua que la Serie Yavapai y, por lo tanto, más antigua que las rocas graníticas intrusionadas durante la Revolución Mazatzal. Por lo tanto, se ha comprobado, por las relaciones estratigráficas normales, por la superposición y por los contactos intrusivos transgresivos dos periodos de intrusión granítica en el Precámbrico más antiguo de Arizona. Hinds estuvo en lo correcto al sugerir los dos periodos, colocando el segundo periodo después de la Revolución Mazatzal y no antes de la misma. No tenía datos verificables para apoyar su conclusión, y siguiendo el principio de la simplicidad, su contribución tuvo que ser ignorada.

Se están haciendo progresos en el uso de las mediciones radiométricas para correlacionar rocas y acontecimientos estructurales en el Precámbrico más antiguo de Arizona. Algunos de estos datos se muestran en la Tabla 1; las edades indicadas para los gneises, granitos y pegmatitas de las cuales se colectaron muestras de micas, varían desde unos 1 200 a unos 1 500 millones de años (m.a.).

La mica de los gneises de la granodiorita pre-Yavapai del sur de Prescott dio, por los métodos del K-Ar y del Rb-Sr, mediciones que indican una edad de unos 1 250 m.a. (Carl Hedge, comunicación escrita.) Las mediciones de los isótopos de plomo en el circón del gneis de granodiorita indican una edad mínima de 1 700 m.a. (E. J. Catanzaro, comunicación verbal.) Estos datos indican que la mica en dichos gneises recristalizó durante la deformación de la Serie Yavapai, correspondiendo de una manera general a la época que Aldrich,

Wetherill y Davis (1957) han llamado el periodo de los 1 350 m.a. de rocas graníticas. El circón da una edad más antigua, más acorde con las relaciones estratigráficas. Debe notarse que Silver y Deutsch (1961) han informado acerca de una edad de 1 650 m.a. para el circón de una granodiorita al sur de Arizona (Cochise County).

TABLA 1

EDADES RADIOMETRICAS DE ROCAS DEL MAS ANTIGUO PRECAMBRICO DE ARIZONA

Localidades de las muestras*	Edades en millones de años	
	K–Ar	Rb-Sr
1. Gneis, Gran Cañón	1390	1370
2a. Granito Lawler Peak, Bagdad	1410	1390
2b. Pegmatita en el granito Lawler Peak	1410	1500
3. Pegmatita, Wickenburg	1160	1300
4. Pegmatita en el esquisto Vishnu, Gran Cañón		1550
		1530
5. Zona de Migmatita en el esquisto Vishnu, Gran Cañón		1390
6. Granito cerca de Valentine		1300
7. Granito Diana, Chloride		1350
8. Granito Chloride, Chloride		1210
9. Granito Oracle, Oracle		1450

* La muestra del 1 al 3 son de Aldrich, Wetherill, Davis, 1957, Pág. 656 y las muestras del 4 al 9 son de Giletti y Damon, 1961, Pág. 640.

Se tiene la tentación de suponer que el periodo de 1 350 m.a. corresponde a la Revolución Mazatzal; por desgracia no se han obtenido fechas radiométricas dignas de confianza de las rocas graníticas claramente afines a la orogenia Mazatzal, esto es, de las Montañas Mazatzal o de áreas adyacentes. Los datos útiles sobre la edad demuestran, sin duda, la necesidad de un trabajo sistemático, pues todavía hay mucho que aprender de las mediciones radiométricas de las rocas del Precámbrico en Arizona, y finalmente pronostico que dichos estudios probarán que la historia estructural es más compleja que la que puede ser documentada con los datos actuales.

Muchos geólogos en estructuras deducirán que en Arizona hay rocas metamórficas más antiguas que los gneises granodioríticos situados al sur de Prescott, y que estas rocas fueron deformadas antes o durante la intrusión de la granodiorita transformada a gneis durante la deformación de la Serie Yavapai. Usando el principio de la

simplicidad, podemos decir con seguridad que la explicación más simple en 1962 es que hubo, al menos, dos periodos de orogenia e intrusión granítica en la historia Precámbrica más antigua de Arizona. Al ser descubiertos más elementos verificables, la historia se hará aún más compleja.

Declaración concluyente

Gran parte de mi discusión ha estado limitada al uso del principio de simplicidad en los aspectos explicatorios o interpretativos de la geología estructural, más que al descubrimiento de teorías o leyes. A propósito hagamos referencia a Mario Bunge, quien externa dudas acerca de la simplicidad en la construcción y prueba de las teorías científicas. Una teoría debe ser, al menos, consistente ante los hechos conocidos y predecir hechos nuevos e insospechados (Bunge, 1961, Pág. 133). Bunge (1961, Pág. 148) cree que las simplicidades son indeseables en la etapa del descubrimiento del problema, aunque son convenientes en la formulación de problemas, y lo son mucho menos en la solución de los mismos. Su advertencia es que "la navaja de Ockham —al igual que todas las navajas— debe ser manejada con cuidado para impedir la decapitación de la ciencia cuando se intenta rasurar algunas de sus pilosidades. En la ciencia como en la barbería, es mejor estar vivo y barbado y no muerto y bien rasurado".

A mí me parece que cuando un geólogo en estructuras está formulando una hipótesis explicatoria, el principio de la simplicidad no debe quedar restringido a su imaginación; las hipótesis complejas pueden estimular y guiar el trabajo hacia datos nuevos y diferentes. Para esta fase del estudio, Bunge hizo una excelente indicación en el sentido de que cuando ya se ha hecho la selección final de las hipótesis su clasificación debe ser recortada por la navaja de Occam.

REFERENCIAS

Albritton, C. C., Jr., 1961, Notes on the history and philosophy of science. (1) A conference on the scope and philosophy of geology: J. Graduate Research Center, Southern Methodist Univ., vol. 29, no. 3, pp. 188–192.

Aldrich, L. T., Wetherill, G. W., and Davis, G. L., 1957, Occurrence of 1350 million-year-old granitic rocks in western United States: Geol. Soc. Am., B., vol. 68, pp. 655–656.

Anderson, C. A., 1951, Older Precambrian structure in Arizona: Geol. Soc. Am., B., vol. 62, pp. 1331–46.

——— and Creasey, S. C., 1958, Geology and ore deposits of the Jerome area, Yavapai County, Arizona: U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 308, 185 pp.

Barker, S. F., 1961, On simplicity in empirical hypotheses: Phil. Sci., vol. 28, pp. 162–171.

BRIDGMAN, P. W., 1961, The way things are: New York, Viking (Compass Books Edition) 333 pp.
BUNGE, MARIO, 1961, The weight of simplicity in the construction and assaying of scientific theories: Phil. Sci., vol. 28, pp. 120–149.
DEMOS, RAPHAEL, 1947, Doubts about empiricism: Phil. Sci., vol. 14, pp. 203–218.
FEUER, L. S., 1957, The principle of simplicity: Phil. Sci., vol. 24, pp. 109–122.
GILETTI, B. J. and DAMON, P. E., 1961, Rubidium-strontium ages of some basement rocks from Arizona and northwestern Mexico: Geol. Soc. Am., B., vol. 72, pp. 639–644.
GOODMAN, NELSON, 1958, The test of simplicity: Science, vol. 128, pp. 1064–1069.
HINDS, N. E. A., 1936, Uncompahgran and Beltian deposits in western North America: Carnegie Inst. Washington, Pub. 463, pp. 53–136.
JEVONS, W. S., 1883, The principles of science: London, MacMillan, 786 pp.
KEMENY, J. G., 1953, The use of simplicity in induction: Phil. Rev., vol. 62, pp. 391–408.
LAIRD, JOHN, 1919, The law of parsimony: The Monist, vol. 29, p. 321–344.
MILL, J. S., 1865, An examination of Sir William Hamilton's philosophy: London, Longmans, Green, 561 pp.
RUSSELL, BERTRAND, 1929, Our knowledge of the external world: New York, W. W. Norton, 268 pp.
SILVER, L. T. and DEUTSCH, SARAH, 1961, Uranium-lead method on zircons: New York Acad. Sci., Ann., vol. 91, pp. 279–283.
THORBURN, C. C., JR., 1918, The myth of Occam's Razor: Mind, vol. 27, pp. 345–353.
WILSON, E. D., 1939, Pre-Cambrian Mazatzal Revolution in central Arizona: Geol. Soc. Am., B., vol. 50, pp. 1113–1164.
WOODFORD, A. O., 1960, Bedrock patterns and strike-slip faulting in southwestern California: Am. J. Sci., vol. 258A, pp. 400–417.

LUNA B. LEOPOLD
WALTER B. LANGBEIN
U.S. Geological Survey

Asociación e Indeterminación en Geomorfología

Usted encuentra una roca. La mira al igual que un pedazo ordinario de pedernal roto y áspero. En una parte de ella hay una pátina cuyo suave color gris contrasta con las superficies castaño brillantes de la fractura concoidea. Usted pudo haber encontrado esta roca en cualquier tipo de ambiente y en cualquier lugar del mundo. No hay nada que la caracterice.

Este mismo pedazo de roca lo pone usted en las manos de un colega y le pregunta qué puede hacer con él. El considera su pregunta con toda calma antes de decirle: "Usted sabe, eso podría ser un artefacto". Y entonces surge de súbito en la mente, la idea de un hombre primitivo en cuclillas y descalzo ante un fuego calentando sus manos. La luz del fuego proyecta su sombra contra el acantilado abajo del cual se encuentra acuclillado.

La diferencia entre la reacción antes y después del paso del pensamiento de que la roca pudo ser realmente la herramienta de un hombre prehistórico, es la diferencia entre el desinterés moderado y un calidoscopio de imágenes mentales. Esta diferencia refleja las diferencias en las asociaciones de pensamientos.

Al presente ensayo le interesa cómo se utilizan las asociaciones en el razonamiento geológico, y consecuentemente con las consideraciones filosóficas que parecen influir en la metodología y dirección de la geomorfología.

Cuando usted recogió el pedazo de pedernal las asociaciones que pasaron fugazmente por su mente fueron específicas hasta los límites de sus conocimientos en relación al objeto mismo. Esta piedra la consideró como un objeto raro solamente porque le pareció que ha-

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M.G.

bía sido tallada por manos humanas. Las imágenes mentales proyectadas por el proceso mental son originadas únicamente a causa de un interés intelectual. El espécimen en sí no tiene ningún valor. Sin embargo, si la roca es la muestra de una mena, la cadena del pensamiento pudo haber conducido a un interés de un tipo totalmente diferente. Nuestra diaria experiencia en geología enfatiza que los propósitos de esta rama de las ciencias naturales son dos —intelectual y utilitario— y que están constituidos por dos de los principales elementos que tienden a estimular la mente del hombre.

En geomorfología, así como en otras ramas de la ciencia, las imágenes mentales que representan asociaciones en el mundo natural tienen un valor intrínseco que radica en lo maravilloso de cómo el conocimiento de la naturaleza parece fructificar en una forma casi uniforme entre los seres humanos que meditan. Pero las asociaciones en el mundo natural no son en sí mismas sólo objetos de interés sino que también son los instrumentos del arte.

La asociación de diferentes observaciones es una forma de lógica. Lo que aquí se llama "asociación" podría ser considerado por algunos simplemente como otra palabra más para el razonamiento. Pero este tipo de razonamiento utilizado en geología, está tan extensamente detallado que guarda poca semejanza con la lógica matemática, aun cuando la lógica puede ser capaz de discernir en el razonamiento geológico los mismos preceptos e indudablemente los mismos métodos que constituyen las bases para cualquier clase de razonamiento lógico. Entonces, si el lector desea igualar la palabra "asociación" como se utiliza aquí, con la lógica o con el razonamiento, no planteamos ninguna objeción, sin embargo, es la base de este razonamiento la que aquí se está examinando.

El tipo de asociación más simple y el más fundamental trata con el proceso en acción. Cuando alguien observa en un afloramiento una arenisca uniformemente estratificada, el observador asocia esto con el conocimiento general de la forma en la cual puede ser depositada la arena. Un depósito de arena generalmente implica que hubo una fuente de materiales cuarzosos, un proceso en el que estos materiales fueron reducidos a un tamaño relativamente uniforme y clasificado y en situaciones físicas que condujeron a una acumulación progresiva de los materiales en un ambiente depositacional. Entonces, el afloramiento se interpretó por medio del conocimiento general de los procesos del intemperismo y la subsecuente transportación por el agua o por el viento.

En contraste con las observaciones hechas de los materiales en una sección vertical, otra línea de asociaciones relaciona un rasgo del paisaje a un proceso particular. La ocurrencia de un abanico

aluvial en la desembocadura de un cañón es interpretado en función de la forma y la localización de los materiales, que en este caso indican que la fuente de suministro del volumen de sedimentos del abanico se localiza en el cañón y que dicho volumen fue transportado desde ahí hasta su actual posición, posiblemente por el agua o por el flujo gravitacional lubricado por el agua.

Se encuentra implícito en la utilización de las asociaciones el principio del uniformismo: se supone que los procesos geológicos que se observan de inmediato son los mismos que han operado a través del tiempo geológico. La asociación de un afloramiento de arenisca uniformemente estratificada con condiciones observadas de inmediato bajo las cuales también pudo ser depositada la arena, emana de la suposición de que los procesos ahora observados son los mismos que operaron en el pasado distante.

El concepto de la asociación tiene un alcance que va más allá de un principio tan general como el de la uniformidad. Este principio en sí no sugiere necesariamente operaciones consecutivas, ni trata de las relaciones entre observaciones individuales a las cuales es aplicable la generalidad. Por ejemplo, en la prueba del caso citado, permítase suponer que la arenisca está cortada transversalmente por un dique de material ígneo. El conocimiento del proceso conduce a la conclusión de que la arena tuvo que haber sido depositada en una época previa a la que fue intrusionado el material ígneo.

La idea del uniformismo en sí no trata con las relaciones cronológicas. El géologo estudia los huesos de un dinosaurio. En la misma formación donde fueron descubiertos los huesos se encuentran conservadas, como moldes, las huellas de una bestia. Los huesos del pie pueden ser comparados con la huella y permítasenos decir que la impresión parece haber sido hecha por el animal cuyos huesos están ahora fosilizados. En nuestros tiempos no hay nada semejante a esta criatura, y utilizando la asociación más que el razonamiento originado en el uniformismo puede demostrarse que la forma corpórea del dinosaurio es compatible con los moldes de sus huellas. Entonces es posible que el uso de las asociaciones permita hacer una extensión indispensable al uniformismo en el razonamiento geológico.

Todos los campos de la geología, particularmente la paleontología, están basados más en la asociación que en cualquier principio que relacione los procesos observables de inmediato con aquellos que han ocurrido en épocas previas. Deben hacerse las interpretaciones de fenómenos diferentes cualesquiera conocidos que ocurran bajo las condiciones actuales. Esto implica que el concepto de asociación no es más inferior en orden de generalidad que lo es el principio del uniformismo.

Biblioteca Municipal "Mario Mendes"

Por lo tanto, resumiendo, el razonamiento geológico está basado en una lógica que aquí se nombra uso de las asociaciones y éstas, a su vez, pueden ser útiles de cuatro maneras diferentes. Primero, las asociaciones particulares pueden indicar una sucesión de acontecimientos en el tiempo. Segundo, una asociación localmente encontrada puede indicar una relación general cuyos límites están más allá de la localidad o ámbito de la observación. Tercero, una asociación particular puede ser indicativa del proceso en acción. Cuarto, la síntesis de una variedad de observaciones es, en efecto, una ampliación del alcance de las asociaciones consideradas en un contexto dado.

Puede pensarse que la generalización es una síntesis de pequeñas porciones individuales del conocimiento dentro de un sistema más amplio, pero la síntesis es simplemente la ampliación de un contexto de la asociación. El número de asociaciones que están implicadas en un proceso mental particular posiblemente es una medida del grado de realización que alcanzó la síntesis. De esta manera el uso de la asociación indicada por los simples ejemplos citados líneas arriba, constituye con mucho la metodología de la síntesis o de la integración. Desde este punto de vista, la utilización del concepto de asociación representa una de las bases fundamentales de la geología.

En el método inductivo, el propósito de describir un fenómeno puede ser, por ejemplo, eliminar detalles extraños para comprender, en promedio, cuál es el patrón representado por los datos. La descripción generalizada puede ser cuantitativa o cualitativa. La cuestión respecto a qué datos deben ser incluidos estaría determinada principalmente por la pregunta hecha, más que por una determinación *a priori* de cuáles de los datos se aplican a la descripción generalizada requerida. Todos los casos como sea posible deberían estudiarse para llegar a comprender qué patrones han de ser expuestos entre los ejemplos. La búsqueda de los patrones de información, ya sea cualitativa o cuantitativa, es esencialmente inductiva.

La diferencia entre aproximaciones inductivas y deductivas no consiste en la presencia o ausencia de las hipótesis de trabajo o de las hipótesis múltiples, sino que dichas aproximaciones pueden diferir en la etapa de la que se deriva la hipótesis. La diferencia no prescinde de la necesidad, en alguna etapa, de idear una hipótesis que debe ser probada contra los datos y la razón.

Quienes trabajamos en la geomorfología tenemos un interés particular en la filosofía de la investigación, por la naturaleza de nuestro objetivo y por la historia de su evolución. El propósito de esta rama de la ciencia geológica es entender las formas de la superficie terrestre. Entonces, no resulta difícil discernir que es un tema que ha estado cercano a una aproximación por medio de la clasificación

de las formas observadas, es decir, ideando categorías para colocar en casilleros los distintos tipos de colinas, valles, escarpas, ríos y modelos de drenaje. De dicha clasificación se dedujeron ciertas generalizaciones —una aproximación inductiva.

Un continuado interés en la clasificación durante el primer tercio del presente siglo, tuvo como consecuencia la adopción de la práctica de asignar nombres a las características del paisaje. Las corrientes fueron nombradas como subsecuentes, superpuestas, etc., y cada designación llevaba con ella la inferencia apropiada en lo que se refiere a los procesos operativos y a la sucesión histórica. Poca atención se concedió al estudio de los procesos, los cuales, reflexionando sobre el registro pasado, ahora parecen haber conducido al abandono de los estudios de campo que son el fundamento de la ciencia geomórfica. Como consecuencia, el interés por esta ciencia disminuyó en los otros investigadores de la geología. Un aspecto importante de este desinterés creciente fue, que la geomorfología, en lo que respecta a la forma de practicarse, perdió su utilidad inherente.

La utilidad de la ciencia se mide, en parte, por la facultad de pronosticar, es decir, predecir relaciones postuladas por el razonamiento acerca de las asociaciones y consecuentemente sujetarlas a la verificación por medio de experimentos o estudios de campo. Teniendo presente estas cosas en la mente, es evidente que la preocupación de la descripción podría conducir a una disminución en la utilidad a causa de que la clasificación y la descripción generalmente son bases insuficientes para la extrapolación y en este caso para la predicción.

A mediados del siglo comenzó una revitalización para la geomorfología la cual ha seguido los lineamientos de una investigación más detallada de los procesos operativos en la evolución de los paisajes. El estudio de los procesos ha estado acompañado por el uso creciente de datos cuantitativos y de la expresión matemática. El rumbo hacia el estudio cuantitativo de la geomorfología, en contraste con la descripción, no debe ser visto como una diferencia básica en el método de la investigación, como quedó asentado al principio, sino más bien como una diferencia en el tipo de problema que se está atacando. Tanto la investigación geológica cuantitativa como la cualitativa están basadas en el uso de las asociaciones y en el concepto de la uniformidad.

Este rumbo corre paralelo al de la investigación geológica en general. Antes de 1930, menos de una página entre cien del "Bulletin of the Geological Society of America" contenía fórmulas matemáticas. El porcentaje actual se aproxima a un 10%. La ingeniería civil sigue un rumbo igual aunque en un nivel mucho más alto.

Unido a este incremento exagerado del método cuantitativo en la

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO

geomorfología, existe, y esto es alentador, una mayor concentración en la cartografía geológica en muchas investigaciones y en otras, al menos el estudio detallado de la estratigrafía en el campo. El trabajo de John T. Hack (1960) sobre la geomorfología de la parte central de los Apalaches es un modelo que se espera será emulado en proporción creciente por investigadores de campo de esta rama. Hizo mapas geológicos detallados de áreas locales, los que entonces utilizó como base para el estudio de formas y procesos y en los cuales usó argumentos cualitativos y cuantitativos. En forma semejante, John P. Miller hizo la cartografía de áreas extensas en la cordillera Sangre de Cristo, Nuevo México y la utilizó como base de estudios geomórficos (Véase Miller, 1959).

Entre las ciencias geológicas, la geomorfología en Estados Unidos, algunas veces, ha sido atacada de una manera bastante diversa desde otros aspectos de la geología, en tal forma que se le llegó a considerar en la filosofía como algo diferente. Afirmamos que en la filosofía y en el método, es única en relación con las otras ciencias geológicas. La asociación, la uniformidad, las hipótesis de trabajo, el razonamiento, los datos cuantitativos y cualitativos son conceptos e instrumentos tan necesarios a esta ciencia como a cualquiera otra en la geología.

En cualquier tiempo la necesidad de una serie de cuestiones implícitas o explícitas, es suprema. Además de esto, hay épocas en que se tienen datos o teorías nuevas de las cuales depende el progreso. Durante varias décadas el gobierno ha estado reuniendo datos sobre los ríos. Nadie ha sabido dar la aplicación justa a este almacén de información para la investigación geomórfica ni nadie ha sabido consultarla. Entonces, en 1945, Horton, expuso una nueva teoría hidrofísica sobre el paisaje que fue de una exactitud alentadora en sus principios en contraste con la breve descripción antropomórfica de William Morris Davis. El análisis de los datos de los ríos comenzó poco después y continuó durante unos quince años, y en él se usaron los datos útiles en asociación con las ideas estimuladas por la teoría de Horton. De ambas cosas no es probable reunir algo más. El tiempo es adecuado para que surjan nuevas teorías y nuevos datos.

El cambio de interés en la geomorfología de la descripción hacia el proceso y de lo cualitativo hacia lo cuantitativo parece conducir también hacia un cambio importante que puede tener efectos de mucho alcance en el campo. Están implicadas nuevas series de aplicaciones en vista de las preguntas singulares que actualmente se están formulando. Imaginamos percibir operando en el paisaje el desarrollo de un principio hace tiempo reconocido en la física, pero que es nuevo en el pensamiento geomórfico —el principio de la indeterminación.

Entendemos por indeterminación, en el presente contexto, cuando nos referimos a aquellas situaciones en las que las leyes físicas aplicables pueden ser satisfechas por un gran número de combinaciones de valores de variables interdependientes. Como consecuencia, cierto número de casos individuales diferirán entre sí, aunque su promedio es reproducible en pruebas diferentes. Entonces, cualquier caso individual, no puede ser previsto o especificado excepto en un sentido estadístico. El resultado de un caso individual es indeterminado.

Cuando está implicado un gran número de factores recíprocos en un gran número de casos o ejemplos individuales, las posibilidades de combinación son tan grandes que las leyes físicas que gobiernan las fuerzas y movimientos no son suficientes para determinar el resultado de estas reciprocidades en un caso individual. Las leyes físicas pueden ser completamente verificadas por una variedad de combinaciones de los factores con relación recíproca. Por lo tanto, estas aseveraciones restantes son de una naturaleza más bien estocástica que física.

Estas aseveraciones estocásticas difieren de las leyes físicas deterministas en que las primeras llevan consigo la idea de una incertidumbre irreducible. A medida que se conozca más acerca de los procesos operantes y que se aprenda más lo tocante a los factores implicados, disminuirá la variación de la incertidumbre, pero nunca será totalmente eliminada.

Puede elegirse un ejemplo de los procesos fluviales. Considerando cierta extensión de un río situado entre tributarios, se introducen, desde aguas arriba, agua con cierto ritmo de flujo y determinada cantidad de sedimentos. Ambos factores cambian cuando acontece una inundación, a través de una estación o un periodo de años. Para ajustar estos ritmos variables del caudal y de sedimentos, tendrán que cambiar un número de variables hidráulicas interdependientes, incluyéndose amplitud, profundidad, velocidad, pendiente e irregularidad hidráulica. Un cambio particular en el caudal y en el sedimento puede ser ajustado por varias combinaciones de valores de estos factores dependientes o ajustables.

Específicamente, las ecuaciones físicas que siempre deben ser satisfechas son ecuaciones de conservación, como la de conservación de masas. En el río, esto se expresa en la ecuación:

$$Q = apv,$$

o sea que el caudal es igual al producto de la amplitud, profundidad y velocidad media. Otra ecuación física es la relación de la velocidad, de la profundidad, de la pendiente y la irregularidad hidráulica

expresada por la ecuación de Chezy o Manning. Otra es la relación entre el esfuerzo cortante y la carga del sedimento. En un caso particular estas relaciones físicas pueden ser satisfechas por una variedad de combinaciones de valores de las variables dependientes.

Además de las leyes físicas de la conservación, está operando otro tipo de principio, un principio que trata con la distribución de la energía en el tiempo y en el espacio y es de forma probabilista. Opera como las tendencias que guían la combinación de los factores dependientes. Hay una tendencia hacia un trabajo mínimo o ritmo mínimo de desgaste de energía y, en forma aparte, una tendencia hacia una distribución uniforme del desgaste de energía. Por lo general, estas tendencias son opuestas y operan a través de procesos que tienden a mantener un equilibrio entre los factores por cambios restringidos.

En los ríos, tales procesos, o acciones gobernadoras, incluyen socavación y relleno, cambios en la configuración del cauce (rizaduras, dunas, antidunas), los esfuerzos de dispersión en el cauce, de Bagnold (1956). Dichos procesos actúan de la misma manera como el regulador mecánico de una antigua máquina de vapor. Cualquier tendencia al cambio de un factor a expensas de otro induce una resistencia a aquel cambio, y así los factores hidráulicos rondan alrededor de un promedio o de un equilibrio. Pero en cualquier momento, en el transcurso del tiempo, las relaciones específicas no pueden ser previstas excepto en un sentido estadístico.

Tal acción gobernante es bien conocida en el proceso de socavación y relleno. Si la depositación local ocurre en el lecho de un canal aluvial, la profundidad tiende a disminuir ligeramente, la velocidad puede aumentar teniendo la misma tendencia la pendiente, y el resultado neto de todo esto tiende a limitar la depositación o a inducir a un excavado compensatorio. La relación promedio o la relación más estable en el mecanismo de los ríos parece ser aquella en el cual el gasto total de la energía es reducido al mínimo y la utilización de la energía es distribuida uniformemente a través de la extensión del canal, una consecuencia de los requisitos para un sistema abierto estable (Leopold y Langbein, 1962).

En la evolución de las formas terrestres hay muchos procesos diferentes que actúan en innumerables localidades. En otras palabras, hay muchas colinas, arroyos, valles, acantilados y otras formas del terreno, en las que operan, en cada una de ellas, un gran número de factores variables. Los geomorfólogos consideran que las variaciones observadas entre ejemplos de los mismos rasgos son debidas a dos causas principales: (a) variaciones ligeras en la estructura local, en la litología, en la vegetación o en otros factores y (b) errores

irreducibles en las mediciones. Postulamos una tercera causa no menos importante —la variación estadística que resulta de la indeterminación discutida antes—. A primera vista, esta adición puede parecer trivial, obvia o implicada en las dos primeras causas, pero filosóficamente parece importante. El siguiente ejemplo puede aclarar este punto.

Imagínese la pendiente amplia de una colina, de material uniforme y pendiente constante sujeta a las mismas condiciones lluviosas, un caso ideal que no puede realizarse en la naturaleza. Supóngase que la pendiente, el material y la precipitación fueron tales que ya existían sobre la superficie un gran número de arroyos que formaban un drenaje somero en forma de red. ¿Deberá suponerse que los arroyos comparables en tamaño y posición fueron absolutamente idénticos? El postulado de la indeterminación sugeriría que serían muy semejantes, pero no idénticos. Existiría una variación estadística y seguramente con una pequeña desviación tipo, pero la carencia de identidad reflejaría la variación casual entre varios ejemplos, aun bajo condiciones uniformes.

Además de las conocidas relaciones físicas hay otras relaciones de una naturaleza estocástica que pueden utilizarse para explicar ciertas formas geomórficas (Langbein, 1963) e implican que la variancia en la forma es una propiedad inherente. Aquí se sugiere que el mismo principio puede tener una aplicabilidad general para muchos aspectos de la ciencia geológica. En otras palabras, el paisaje exhibe una variabilidad que puede esperarse como consecuencia de una incompleta determinación dinámica. Las leyes físicas generales son necesarias, pero no suficientes para determinar la figura exacta de cada forma terrestre. Alguna dispersión de puntos sobre las gráficas muestra las relaciones mutuas que son esperadas entre los factores, aunque la condición media o situada en el centro es reproducible en series de pruebas diferentes.

La misma serie de condiciones, por ejemplo el mismo clima, la misma litología y la misma estructura, pueden conducir a un espectro de dimensiones y posiciones diferentes de los aspectos idénticos, de otra manera, por ejemplo, los arroyos ya mencionados. Estas variaciones existen aun cuando hay (a) ambiente climático y geológico común y (b) una serie común de principios hidráulicos.

En consecuencia, concluimos que quedan ciertas condiciones insatisfechas, ciertos grados de libertad (exceso de incógnitas sobre el número de ecuaciones que pueden ser escritas para relacionar estas incógnitas). Implícita en estas observaciones se encuentra la posibilidad de aplicar los principios de la probabilidad a una interpretación de aquellos aspectos del paisaje sujetos a la variancia. El análisis es

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M.G.

auxiliado por el teorema del límite central en el cual existe una condición promedio. La variancia acerca del promedio, es una función de los grados de libertad.

De esta manera aparece que en los sistemas geomorfológicos la facultad de medir siempre excede a la capacidad de idear o explicar. En las mejores condiciones para explicar las variaciones en las formas terrestres, puede ser posible introducir nuevas relaciones, derivándose de cada una de ellas una importancia en proporción al grado en que satisfacen a la naturaleza, es decir, que concuerdan con la realidad en el campo. Estas relaciones nuevas o alternativas pueden ser estocásticas más que físicamente deterministas. De esta manera, las relaciones probabilistas pueden proporcionar un mejor ajuste con las condiciones reales que con las relaciones físicas directas que previamente han sido usadas. Las exposiciones estocásticas, las cuales en algunas ocasiones pueden extenderse en conformidad con las relaciones físicas basadas en las leyes newtonianas de la mecánica, diferirán de ellas en que tienen una variancia inherente implícita o explícitamente establecida. Pero esta situación probabilista o estocástica puede resultar ser el elemento más importante y conducir a un entendimiento más específico de los procesos que la aproximación previa que supuso leyes físicas exactas.

Lo que creamos será un ejemplo de la sustitución de una relación probabilista por una física, y de este modo un progreso del entendimiento que se encuentra en la distribución de la velocidad logarítmica muy estudiada en el flujo turbulento. La aproximación hacia el campo de la observación proporcionada por la teoría del impulso es de naturaleza determinista, pero es bien sabido que contiene implícitamente una variancia. Ahora comienza a aparecer que la explicación de que la distribución de la velocidad logarítmica basada en los principios estocásticos puede ser más básica al guiar hacia el conocimiento y se ajustará tan bien o mejor con la realidad que los modelos físicos previamente usados. Además, la relación estocástica conducirá directamente no solamente a los valores promedios sino también a una situación de la variancia acerca del promedio.

El equilibrio en la geomorfología, desde este punto de vista, puede ser alcanzado de diferentes maneras y es fijado o definido por un gran número de casos únicamente por sus promedios. Aquellos casos que se desvían del promedio no están necesariamente en un equilibrio menos perfecto que el de otros casos, lo cual coincide con el promedio. En este sentido la geomorfología inherentemente implica variancia, la cual es una propiedad intrínseca de las formas geomórficas.

A la luz de este conocimiento, el proceso y tratamiento estadísticos son necesarios como objetos de estudio e instrumentos de la ciencia que solamente pueden ser estudiados cuantitativamente. Esto puede ser, si es necesario, una justificación suficiente para destacar cada vez más que el tratamiento de las formas terrestres es más bien cuantitativo que descriptivo.

Pero la justificación de nuestros instrumentos, de nuestros métodos o de nuestro énfasis, no debe concedérsele atención en la geomorfología. Si los resultados son de interés intelectual o que en sí se presten a la previsión práctica o a la pronosticación, la ciencia prosperará. Para este fin, el geomorfólogo podría considerar mejor el dominio de las asociaciones en nuestros procesos del razonamiento.

Cualquier aspecto de la ciencia puede naufragar temporalmente en los bajíos de las pequeñas cuestiones, de los detalles, así como en los someros callejones sin salida de la descripción. El resurgimiento de la actividad y el interés pueden revivir un tema cuando los problemas propuestos para investigación son grandes, y si de ellos se obtienen buenos resultados, puedan tener una extensa aplicabilidad o conducir a una amplia generalización. Pero la generalización es la ampliación de las asociaciones, la propagación de un fundamento para el razonamiento. El gran problema es aquel cuya respuesta podría abrir áreas nuevas o ampliadas de la inferencia o de la asociación.

La medida de un investigador es la clase de problemas que plantea. Del mismo modo, la vitalidad de una rama de la ciencia es el reflejo de la magnitud o importancia de los problemas a los cuales los investigadores aplican todos sus esfuerzos. La geomorfología es el ejemplo de un campo de investigación rejuvenecido, no tanto por los nuevos métodos como por el reconocimiento de los grandes e interesantes problemas que confronta el geólogo.

REFERENCIAS

BAGNOLD, R. A., 1956, The flow of cohesionless grains in fluids: Philos. Trans. Royal Soc. (London), Ser. A, no. 964, v. 249, pp. 235–247.

HACK, J. T., 1960, Interpretation of erosional topography in humid temperate regions: Am. J. Sci., vol. 258-A (Bradley Volume), pp. 80–97.

HORTON, R. E., 1945, Erosional development of streams and their drainage basins, hydrophysical approach to quantitative morphology: Geol. Soc. Am., B., vol. 56, pp. 275–370.

LANGBEIN, W. B., 1964, Geometry of river channels: Am. Soc. Civil Engrs., Jour. Hydraulics Div. (in press)

LEOPOLD, L. B., and LANGBEIN, W. B., 1962, The concept of entropy in landscape evolution: U.S. Geol. Survey, Prof. Paper 500-A, 20 pp.

MILLER, J. P., 1959, Geomorphology in North America: Przeglad Geograficzny, Warsaw, vol. 31, no. 3–4, pp. 567–587.

Comunicación Geológica

Puede considerarse a la geología como un cuerpo de conocimientos que crece por la adición de observaciones, de verificaciones y de interpretaciones. El punto importante en toda identificación del conocimiento es que no tiene tangibilidad hasta que no haya sido expresado en términos que sean entendibles, cuando menos para una persona, aparte del descubridor. De esta manera, la vitalidad de la geología —sus datos, sus hipótesis, sus principios y sus métodos de investigación— es alimentada a través de varias formas de comunicación que primero son entendidas por aquellos que se consagran a esta ciencia y después por otros a quienes se les comunica la información.

Mientras que la comunicación debe permanecer al lado de la investigación, por sí misma no debe constituirse en un fin. El volumen de la información científica ha aumentado más de lo que puede asimilar un individuo. De esta manera los científicos pronto no serán capaces ni siquiera de tratar los epítomes publicados como guías de la literatura referente a las disciplinas de su especialidad. Al enfrentarse con este problema ha nacido "la ciencia de la comunicación", pero esta separación de la comunicación de la materia de que se trata lleva consigo la amenaza de que el sirviente pueda dominar al maestro.

Quizá la mejor manera de que pueda valerse el científico para atacar el "problema información" es la de convertirse en un experto en el manejo de los elementos de la comunicación, los cuales utilizamos indistinta e imperfectamente. En la discusión siguiente, el ejemplo de la comunicación geológica se considera desde varios puntos de vista. Entre los temas que serán considerados están la naturaleza de los datos geológicos, las características de los elementos de trabajo usados para comunicar la información geológica y la influencia de la comunicación sobre el cuerpo del pensamiento geológico.

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M G.

Datos de la geología y elementos de trabajo de la comunicación

W. C. Krumbein (1962) clasifica los datos geológicos como de observación y de experimentación. Los del primer tipo consisten de (a) "observaciones o relaciones cualitativas respecto a objetos o acontecimientos naturales" y (b) "mediciones numéricas de aquellos objetos o acontecimientos naturales". Estos datos se obtienen en el campo o mediante "mediciones" en el laboratorio. Los del segundo tipo representan "datos de mediciones cuantitativas que surgen bajo condiciones especificadas y controladas en un laboratorio experimental". Krumbein afirma que, aunque la geología es básicamente una ciencia cualitativa y que a los geólogos les conciernen más los datos de observación, la cuantificación está avanzando con paso firme en algunos subcampos.

Los elementos utilizados para registrar y comunicar los datos geológicos son el lenguaje, los símbolos matemáticos y abstractos y las representaciones gráficas. Son empleados individualmente, pero a menudo aparecen en combinación, la cual es debida en parte, a la necesidad de complementarlos o reforzarlos mutuamente para proporcionar una comunicación más efectiva de los diferentes tipos de datos y, por otra parte, porque no han sido aprovechados en toda su capacidad. También puede haber una sustitución de elementos en las diferentes etapas del registro y de la comunicación de datos o al interpretarlos. El uso combinado y la sustitución de elementos de trabajo se ilustran por medio del mapa geológico.

Desde los comienzos de la geología, la principal aspiración de sus investigaciones ha sido la cartografía de objetos geológicos, principalmente formaciones. Krumbein advierte que las mediciones de la posición, de la distribución y de la orientación de las formaciones son ejemplos de datos numéricos en la geología de uso extenso. Sin embargo, las rocas son definidas por sus propiedades físicas y químicas y no por las mediciones "observacionales". Algunas de las propiedades son examinadas cuantitativamente pero otras no, o no pueden ser examinadas en esta forma. Por lo tanto, el tipo de roca es definido por una mezcla de datos cuantitativos y cualitativos. Además, la cartografía de una formación se establece sobre una interpretación cualitativa o juicio de unidad, representada ya sea por la homogeneidad o por alguna heterogeneidad peculiar de los componentes. El juicio está basado comúnmente sobre la edad relativa asignada a las rocas, utilizando una variedad de procedimientos tanto cualitativos como cuantitativos. Si el que usa el mapa u otros observadores en el campo aceptan el juicio del cartógrafo, se acredita como objetivo. Cuando hay desacuerdo, puede hacerse la cartografía de la misma área más de una vez con resultados diferentes, suponiendo cada cartógrafo que uno de ellos debe ser el correcto. Es comprensible que se desee desarrollar la cuantificación y de esta manera eliminar las determinaciones y las evaluaciones subjetivas en la cartografía geológica, pero, como advierte Krumbein, la cuantificación da lugar a un problema que invade toda la geología y es el que "implica hacer una distinción entre aquellas partes de la ciencia que pueden ser mejor tratadas en conjunto sobre una base cuantitativa y aquellas que pueden ser realmente debilitadas por una cuantificación excesiva". El peligro reside en atribuir regularidades a los objetos geológicos, las cuales, hasta cierto punto son desconocidas, no existen o no pueden ser comprobadas.

En el mapa geológico, alguna de las mediciones de dimensión y orientación registradas son expresadas gráficamente, pero otras son superpuestas directamente sobre la hoja del mapa en la forma de números. La veracidad cuantitativa de la presentación es mejorada por el empleo de un mapa base, lo cual permite un reconocimiento visual inmediato de la relación entre las rocas y la configuración de la superficie.

Por medio de colores, modelos y símbolos se expresan los datos litológicos y los de la edad relativa. La presentación gráfica de estos datos sobre mapas en gran escala no es una práctica difícil en la comunicación. En los mapas de escala media a pequeña la cantidad de datos es más reducida o de un detalle simplificado. Puede preferirse la simplificación puesto que permite la retención de ambas categorías de datos. Todavía a escalas más pequeñas, la alternativa de eliminar una categoría es a menudo inevitable. Puesto que el mapa geológico es principalmente un instrumento de investigación histórica, se sacrifican los datos sobre la litología con el fin de retener la información relativa a la edad.

Cuando los datos no son incorporados al mapa, por lo general se proporcionan en textos y tablas, pero en el caso de que queden impresos sobre la hoja del mismo, esta información puede considerarse como la explicación del mapa. Sin embargo, frecuentemente la información queda incluida por separado en un folleto o libro donde puede combinarse con material no relacionado en forma directa con el mapa. Entonces, en vez de servir como un acompañante del mapa, el informe escrito es el principal producto de la cartografía de investigación y el mapa pasa a ocupar un lugar secundario. A escalas pequeñas, las cuales se utilizan para compilaciones de datos que cubren grandes regiones, o para los índices de mapas de escalas más grandes, todos los detalles deben ser proporcionados fuera del mapa.

De acuerdo como ha sido formado entonces el mapa, no contiene en sí mismo una comunicación. La información necesaria para

hacerla completamente útil debe obtenerse de otra parte o por la interpretación basada en el conocimiento y experiencia de quien lo utiliza. Para la persona que no es geólogo, la información oculta sobre la edad relativa y la litología tiene poco significado o valor.

El problema a que ha dado lugar el mapa geológico es saber dónde representa el mejor y el más completo uso del medio cartográfico en cuanto al propósito. La impresión creada por el mapa geológico es que la cantidad y la naturaleza de la información excede la capacidad del elemento gráfico. Podría suponerse que el mapa, a causa de su sitio fundamental en la ciencia geológica, había sido desarrollado con todo cuidado y en forma progresiva y que el uso combinado del elemento gráfico y otros más fue la solución refinada a un problema de la comunicación. Pero la evidencia indica todo lo contrario. El mapa es esencialmente lo que siempre ha sido desde sus ejemplos más primitivos, un directorio geográfico de objetos geológicos sólo superficialmente caracterizados por artificios gráficos.

Que existe una oportunidad aún más amplia para el uso del medio cartográfico se demuestra por lo variado de los tipos de mapas. En la geología siempre se ha progresado hacia una mejor y más directa comunicación de los datos cuando se han hecho mapas que implican un propósito práctico. En este caso existe, por lo general, la necesidad de hacer el mapa en tal forma que pueda usarse y ser útil para los que no son geólogos. La exigencia ha forzado a los geólogos a producir tales mapas sabedores de los recursos del medio cartográfico. En el caso del mapa geológico, podrían ser emprendidos dos tipos de investigaciones con el fin de mejorarlo y desarrollarlo. Uno sería determinar cuál mapa debe tener funciones adicionales de comunicación, como las de sintetizar las relaciones entre los objetos cartografiados y como las de la colocación de los datos geológicos en una perspectiva ambiental diferente. El otro sería analizar el potencial del medio cartográfico para determinar cuál información, que en la actualidad se encuentra en textos y tablas, podría ser expresada gráficamente.

Es evidente la confianza en el idioma para la comunicación del conocimiento geológico, pero como cada vez se hacen más comunes los procedimientos experimentales y cuantitativos, entonces, el dominio del idioma se verá invadido por números y otros sistemas de símbolos abstractos.

Son familiares las ventajas de la simbolización como un elemento de la comunicación, las cuales serán revisadas con brevedad en seguida. Baulig (1956) señala la simbolización matemática, especialmente la algebraica, como el lenguaje científico más perfecto a causa de su exactitud estricta, lo inequívoco de su significado, su

insuperable manejo y su uso universal. La simbolización tiene la ventaja obvia de la economía relativa del espacio que se utiliza. Baulig nota que la simbolización matemática se ajusta mejor para expresar las relaciones, particularmente las abstractas. Las ciencias físicas están en una posición tal que les permite aprovecharse de este elemento, pero las ciencias naturales se encuentran todavía en el proceso de la descripción y clasificación de los objetos y no están preparadas para usar símbolos exclusivamente. Deben atenerse y confiarse a la palabra para darles forma y realidad a sus datos y a las inferencias derivadas de ellos. Además, mientras las partes sustanciales de la geología son tratadas mejor cualitativamente, ello no quiere decir que eludan las investigaciones cuantitativas y de hecho los símbolos nunca reemplazarán al lenguaje como el elemento primario.

Las ventajas de los símbolos matemáticos son las desventajas del lenguaje verbal. Sin embargo, los lenguajes verbales científicos poseen una superioridad sobre los sistemas de símbolos debido a que no están limitados a sus símbolos o terminología, sino que pueden hacer uso de palabras que todos conocen en los lenguajes comunes.

Las deficiencias del lenguaje verbal pueden ser superadas cuando uno se expresa en forma exacta y precisa, lo cual debe lograr el comunicador y es lo que justamente espera su auditorio. Se censura el uso inexacto y absurdo de los números, pues a la vez crea dudas sobre la validez de los datos que se están presentando y sobre las investigaciones que los sustentan. El que se sirve del lenguaje debe procurarse una norma estrictamente semejante de aceptabilidad. Como grupo, los geólogos, quienes dependen del lenguaje, no le dan tal apoyo. Por lo común, aquellos geólogos y otros científicos quienes utilizan el lenguaje son vistos con recelo como si fueran culpables de ocultar procedimientos imperfectos y datos inadecuados por el hábil manejo de las palabras. Una actitud igualmente negativa y común entre los geólogos les atribuye a todos una ineptitud para usar el lenguaje correcta y eficazmente. La frecuencia de escritos pobres, sin embargo, no tiene excusa en una ciencia que requiere la comunicación verbal.

Crítica de la literatura geológica

La crítica publicada de la literatura geológica se concentra en una gramática deficiente, hábitos malos de estilo y abuso de la terminología.

Los dos primeros cargos han sido discutidos recientemente por Weber (1957) respecto a la literatura geológica alemana. Según esta crítica, el menoscabo en la calidad de la literatura en las décadas recientes se debe a la falta de preparación de los geólogos en las len-

guas clásicas y que, de continuar esta tendencia en la pobreza de la literatura, como hasta ahora, ha de convertirse en el modelo de los autores del mañana. Para justificar su demanda, Weber se refiere a los errores en la sintaxis y en la ortografía, al uso de palabras de otros dialectos y a su difusión. Mucho antes, Cloos (1933) ya había protestado contra la verbosidad de la literatura geológica alemana, ilustrando su protesta por medio de ejemplos que volvió a escribir en forma más breve y más clara. La literatura geológica en otros idiomas parece sufrir tribulaciones semejantes.

Estas críticas son disculpables a causa de que la gramática y el estilo en sí mismos no están bien definidos. El hábito ha reemplazado a la gramática en algunos idiomas, particularmente en el inglés, como una norma de corrección y aceptabilidad. Bergen Evans (1962) dice: "No hay una sola regla en el inglés que no tenga muchas excepciones, por lo que sería una insensatez confiar en ella". La obligación del escritor en este idioma ha cambiado de la observancia estricta de las reglas de la gramática hasta la simple conciencia de las formas aceptadas de decir las cosas. Esta obligación también recae sobre los editores, quienes tienen la atribución de destruir la buena literatura por la aplicación de reglas malas.

Refiriéndose a la traducción científica y técnica, la cual participa de los problemas de la literatura original, Holmstrom (1951) dice que la habilidad para expresar una idea "implica la destreza para explotar las posibilidades de la interacción entre las palabras a través de la sintaxis y del accidente, del énfasis y de la cadencia, de la metáfora y del símil, de la oración y de la estructura del párrafo y de esa cosa indefinible que se llama 'estilo'." La dificultad de adquirir esta habilidad es establecida por E. B. White, quien dice[1] que "No hay una satisfactoria explicación del estilo ni una guía infalible para la buena escritura". Evans aconseja:

> Con el fin de ejercitar el buen gusto en el inglés, uno debe saber en toda su extensión lo que es admisible, la gran variedad de formas en uso por los mejores conferencistas y escritores. Y esto no se aprende por el dominio de las reglas sino poniendo una atención cuidadosa en los detalles del discurso o en los escritos de aquellos cuyo inglés parece atractivo o preciso.

Se proporciona el consejo indistintamente del tema que se trate o del auditorio al que esté destinado.

Los criterios del buen estilo deben ser tan apropiados a la literatura técnica como al escrito literario y quizá deben ser aplicados más estrictamente al primero si uno acepta las opiniones de Darlington (1953):

[1] Véanse Strunk y White en las referencias.

> La teoría de que el descubrimiento científico es impersonal o, como se acostumbra llamarlo, objetivo, tiene varias consecuencias perjudiciales... Uno debe escribir, como se dice, en tercera persona, en la voz pasiva, sin traicionar la convicción o el énfasis, sin alusión a cualquier objeto concreto u ordinario, sino con la mayor indiferencia y con la más grande abstracción. Esta práctica que se adquirió prontamente y sin objeciones, por toda una generación ha estado corrompiendo el idioma literario del mundo. El resultado ha sido que la ciencia, en vez de ser una fuente de confianza y honestidad, está privando con firmeza al discurso común de estas cualidades importantes. Para el estilo mismo, ni es eficaz ni es honesto.

Hace varias décadas, T. A. Rickard (1931) citó a Sir James Barrie porque dijo que "el hombre de ciencia representa al único hombre que tiene algo que decir, en este mismo instante —y es el único hombre que no sabe cómo decirlo—". Rickard prefirió pensar que este comentario había sido un acuerdo benévolo para el científico puro del siglo XIX, aunque fue una verdad desagradable cuando se aplicó a los que ejercen profesiones "que son ramas de la ciencia abiertamente utilitarias" de los días actuales. Se haría una comparación más significativa entre la literatura actual de la ciencia pura y aplicada. En el caso de la literatura geológica, como en la de los mapas geológicos, la claridad de la comunicación parece ser más y más un atributo de la ciencia aplicada, puesto que es una necesidad. La crítica desfavorable debe dirigirse a geólogos que no sientan apremio por escribir bien ni siquiera en lo referente a las ramas de su ciencia. La premisa de Barrie de que el escritor científico tiene algo que decir es sometida a una prueba bastante seria por muchos escritores. Como una consolación pueden aceptar la opinión de White de que "no existe la convicción de que una persona que piensa con claridad será capaz de escribir con claridad".[2] También puede advertirse la imposibilidad de afirmar que una persona que no escribe con claridad sea capaz de pensar en la misma forma.

Para combatir las deficiencias en la gramática y en el estilo de la literatura geológica, Weber (1957) sugiere dos medidas. Una es la de estimular el escrutinio sistemático de la literatura publicada en relación a los errores cometidos, los cuales deben ser citados públicamente. La otra es la de animar a los autores a asumir la responsabilidad personal para corregir y mejorar sus escritos antes de presentar los originales para su publicación. La primera medida confía en una eficaz mejoría en la forma de proceder. Indudablemente encontraría una amplia oposición aun de aquellos que no se consideran culpables. La segunda medida es la más conveniente, pero se apoya en la suposición dudosa de que los geólogos, como grupo, son mejores críticos que escritores.

[2] Véanse Strunk y White en las referencias.

La literatura geológica puede mejorarse como resultado del esfuerzo que se desarrolle para facilitar la publicación de los originales presentados, los cuales aumentan constantemente. Entre las formas de mitigar este esfuerzo se han introducido varias en las publicaciones científicas y técnicas para atacar la prolijidad y se ha alcanzado el objetivo al establecer un límite máximo en la extensión de los originales que serán publicados o, bien, estimulando a los autores a escribir lo más breve posible. La promesa de una publicación rápida es el argumento más persuasivo. Al acceder a la autodisciplina, muchos autores pueden aprender a apreciar el peso y el valor de las palabras.

A la tercera crítica de la literatura geológica le conciernen los abusos de la terminología. C. W. Washburne (1943) los describe como el uso de los términos incorrectos, de los términos contradictorios, de los pleonasmos, de las palabras imaginarias y del abuso de términos válidos. Puede hacerse una distinción entre los abusos más serios y los menos serios. Los pleonasmos son por lo común idiomáticos y tienen la pretensión de ser aceptados especialmente en el lenguaje hablado. El uso de palabras imaginarias, incluyendo los equivalentes de idiomas extranjeros y términos obsoletos, puede ser totalmente apropiado en su lugar correspondiente. White trata estas faltas bajo el encabezado de estilo, más bien que bajo el del hábito correcto o aceptable. El abuso inexcusable es el uso de un término válido que es inaplicable en el contexto.

Watznauer (1956) vislumbra una doble finalidad en la terminología. Para el individuo, la terminología es el medio de poseer conocimientos en forma condensada; para el grupo, es la que suministra los códigos verbales que simplifican la comunicación. La terminología debe ser una ayuda precisa para los científicos, pero cada vez más se ha convertido en una barrera que detiene el entendimiento, la cual crece en altura por la proliferación de vocabularios especializados. Cuando se abate la comunicación basada en la terminología, el idioma especial pasa a ser una jerga.

Challinor (1961) hace el intento de aclarar el problema buscando la diferencia entre una jerga y una terminología aceptable. Lo que él llama jerga es "Gorjeo, cháchara. Una terminología inventada o usada donde las palabras ordinarias también producirían el mismo efecto". Por otra parte, dice, "La terminología técnica, la terminología geológica, no obstante la singularidad de sus términos, no es una jerga si fija el significado en forma breve y concisa". Lamentablemente, su intención fracasa, pues ni la gracia ni la brevedad evitan que la terminología sea una jerga, aun cuando los términos se consideren como palabras ordinarias.

También existe el problema de la comunicación con los científicos de otros campos y con el público en general, cuya terminología tiende a complicarse. Un drástico examen de la barrera que aquí existe se expone en el siguiente enunciado de un diccionario geológico de uso general, el de Himus (1954): "Frecuentemente se señala que los geólogos, junto con otros científicos, son los culpables de inventar y de usar una jerga bárbara y repelente que es incomprensible para el hombre de la calle y que puede ser aun adoptada como una protección contra la crítica".

Semejante crítica de la literatura geológica subraya la necesidad de tener destreza y precisión en el uso del lenguaje. Pueden permitirse ciertas indulgencias al juzgar la destreza, pero la precisión, particularmente en el empleo de la terminología, es esencial. Por lo común, debe mantenerse una creencia en la integridad y en la inviolabilidad de la terminología, a la que se suscribe tanto el que la emplea como el que la crea. La aceptación de esta creencia impediría al que usa tal terminología el emplear términos sin conocer su significado y al que la crea, el introducir términos sin que ello sea necesario. Los abusos por parte del que hace uso de estos últimos, pueden ser superados por el empleo concienzudo de los diccionarios y otros tipos de vocabularios. El que crea tiene, además, la obligación de saber el porqué de los términos, las fuentes de información de los mismos y la terminología de la materia en diferentes idiomas.

Fuentes de información de la terminología geológica y las implicaciones de su crecimiento

En su trabajo sobre la composición de las palabras científicas, Roland Brown dice que estas palabras "se originan de tres maneras: (1) por la adopción directa, con las modificaciones ortográficas apropiadas, del griego, latín y otros idiomas; (2) por la composición por medio de la combinación y de la adición de prefijos y de sufijos; (3) por la creación abierta o arbitraria sin el uso evidente de la raíz del antecedente o del material del cuerpo principal".

No siempre es fácil determinar cuál de estas acciones explica el origen de un término particular. Algunos diccionarios dan a conocer la etimología de las palabras que contienen, pero esta información no dice si el que por primera vez utilizó un término lo tomó prestado o lo derivó de una palabra existente o bien lo inventó. De hecho, muchos términos, especialmente los más antiguos, se han insertado en el vocabulario sin una introducción formal conocida. La fuente de información que se muestra en los diccionarios se refiere más a menudo al autor de una definición corrientemente aceptada que al primero que usó u originó el término. Para el que usa la terminología,

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M G.

los significados aceptados son, por supuesto, mucho más importantes que la historia del uso habitual y no serviría a su propósito el tener esta información histórica adicional.

F. A. Burt (1949) ha examinado específicamente el origen de los términos geológicos y encuentra que la fuente de información más común es la vernácula. Cita términos como *joint* (junta), *graben* (fosa), *dune* (duna), *lava* y *moraine* (morrena), como ejemplos de palabras ordinarias que han sido introducidas en el vocabulario geológico, pero con significados más restringidos que los que tuvieron originalmente. Hay una lista casi infinita de palabras comunes con significado geológico, de las cuales se añaden unas cuantas como *ash* (cenizas), *axis* (eje), *basin* (cuenca), *bed* (capa), *bomb* (bomba), *boss* (protuberancia), *groove* (surco, acanalamiento), *group* (grupo), *habit* (hábito), *head* (cabeza), *heave* (separación) e *incompetent* (incompetente) que pueden ser mencionadas. Burt también se refiere a términos que provienen de ambientes particulares como *barchán, hamada* y *nunatak*. Baulig (1956) observa que la terminología de la geomorfología está llena de tales palabras que son de uso local, pero que en muchos casos se utilizan en forma más amplia.

Además de las palabras comunes, se adoptan o se adaptan nombres propios para utilizarlos en el vocabulario geológico. Cada geólogo está familiarizado con muchos nombres estratigráficos y de rocas que son derivados de nombres geográficos específicos y los nombres de los fósiles se infieren de sobrenombres. Burt cita los siguientes ejemplos de términos de este origen: en geomorfología, *meandro* y *monadnock;* en paleontología, *Beltina;* en mineralogía, *labradorita;* en petrología, *sienita* y en la geología de aguas subterráneas, *artesiano*.

Es evidente que en muchos casos de adopción o adaptación de palabras ordinarias y nombres propios se implica un préstamo de un idioma extranjero. *Decke, fjord* (fiordo), *graben* (fosa), *horst* (pilar, caballete), *klippe, loess* y *nappe* (manto de corrimiento) son ejemplos de términos usados generalmente en los vocabularios geológicos, los cuales han sido tomados prestados de vocabularios de idiomas particulares.

Los términos que se toman prestados de idiomas extranjeros persiguen el fin de llenar los vacíos en la terminología. Una segunda razón para ejecutar esta acción es la de aprovecharse de los términos que parecen ajustarse particularmente a los especialistas de la materia. La segunda razón están menos definida que la primera, la cual puede determinarse por la inspección de vocabularios en idiomas diferentes. Los vacíos son de lo más frecuente, no sólo en la terminología científica sino también en las palabras ordinarias, más de lo que generalmente se cree.

Para ilustrar los vacíos en la terminología geológica, se ha tomado un ejemplo de un diccionario geológico cuatrilingüe editado por Rutten. La sección sobre "geología tectónica" contiene 653 términos (no incluyendo sinónimos) de los cuales sólo 393 están representados en los cuatro idiomas, 141 en tres, 105 en dos y 14 en uno. Hay 644 en holandés, 561 en alemán y 506 en inglés y francés. El holandés parece tener la terminología más rica de esta materia, pero la escasez relativa de vacíos indudablemente está relacionada con el hecho de que el holandés era el idioma original de los compiladores. Además, el proyecto del diccionario les ofreció la oportunidad de descubrir los vacíos en la terminología holandesa, la cual, de acuerdo con dos de los compiladores, los situó en una condición favorable para acuñar términos.

La ausencia de equivalentes en dos de los cuatro idiomas, para cualquier término, es menos significativa que un vacío en uno o en tres. Por lo menos dos idiomas contienen equivalentes, el sentido del conocimiento que expresan permite concebir que se ha ganado una identificación que se encuentra más allá de su fuente. Un término que no tiene equivalentes en tres de los idiomas puede representar una identificación sumamente restringida, aunque también puede significar un avance preciso del conocimiento en el área de un idioma que es superior al de las otras áreas. La ausencia de un término en sólo uno de los idiomas sugiere que el tema, por alguna razón, no ha sido proseguido activamente en el área de aquel idioma. Esta interpretación está apoyada por el predominio de vacíos en las series de términos afines. Por otro lado, puede indicar que los términos del idioma extranjero son regularmente utilizados para discutir el tema.

En el ejemplo citado, el inglés y el francés muestran el mismo número de vacíos aunque el inglés es el que falta en 83 casos y el francés en 42. Basándose en el estudio de términos de la geomorfología, Bauling encuentra que los términos de lenguas extranjeras son más utilizados en el inglés y sucesivamente menos en el alemán y en el francés, y al referirse al predominio en el inglés de pedir prestados términos técnicos, lo atribuye a la continua receptividad general de conferencistas de habla inglesa por las palabras de origen extranjero. El alemán, de acuerdo con Baulig, es el que probablemente contiene más traducciones de términos de idiomas extranjeros o de modificaciones a una forma alemana. Descubre que el francés se resiste a los términos alemanes porque a los conferencistas franceses les resulta difícil asimilarlos y pronunciarlos, pero es más tolerante para las palabras de otras lenguas romances. De esta manera, los vacíos que se indican en la terminología francesa probablemente son más reales que los del inglés.

Biblioteca Municipal "Murilo Mendes"
Juiz de Fora — M. G.

Baulig comenta los peligros de pedir prestado sin un entendimiento adecuado del idioma de la fuente. También, con frecuencia, las adopciones dan como resultado distorsiones del significado y uso habitual incorrecto. La tendencia a pedir prestado libremente hace de estos abusos los más notables en los escritos y discursos en inglés.

El acto de pedir prestado también se presenta entre diferentes ciencias, particularmente con el fin de servir a las necesidades de especialistas que trabajan en áreas confinadas. El rápido desenvolvimiento de los campos interdisciplinarios, tales como la geofísica y la geoquímica, ha dado lugar a vocabularios que representan mezclas, más que simples préstamos de términos de los campos originales. Conforme los términos se hacen comunes en más de un campo, tienden a caer dentro del alcance del idioma general y aparecen en diccionarios del lenguaje normales. Las definiciones comúnmente aceptadas de un número creciente de términos científicos se encuentran en la actualidad en estos diccionarios, los cuales se citan como autoridades para las definiciones que se muestran en los diccionarios técnicos modernos.

La adopción o la adaptación de palabras de cualquier fuente con frecuencia implica un cambio en el significado. El uso habitual científico está sujeto a un cambio ulterior con el resultado de que muchos términos tienen varios significados científicos diferentes, no precisamente en sucesión sino simultáneamente. Watznauer observa los cambios de significados originales como una desviación normal causada por el avance del conocimiento. Ha sido delineado un ejemplo típico de la historia del origen y de los cambios en el uso habitual por Tourtelot utilizando la palabra lutita (shale). Llega a la conclusión de que es lícito y justificable el uso habitual de este término con dos significados técnicos, y además, sería inútil insistir en que a este tipo de término se le adjudique un simple significado. No puede esperarse que quien lo emplee explique el uso habitual de cada término con un significado diferente cada vez que lo utiliza. El uso habitual, ya sea técnico o vernáculo, debe ser evidente para el lector del contexto.

La invención de términos se hace necesaria solamente cuando no cumplen el propósito con el que son aprovechados por cualquier idioma. La necesidad crece al ritmo del aumento de los conocimientos del campo. El descubrimiento de objetos hasta ahora no identificados demanda la creación de nuevos nombres. Existe una necesidad menos frecuente de nuevas palabras comunes, puesto que significan clases de objetos, generalizaciones y conceptos, los cuales no se han admitido recientemente en forma tan común como lo son los datos.

Cualquiera que sea el modo de origen, la *necesidad* es la justificación básica de la terminología cuyo crecimiento en los tiempos modernos sugiere que no siempre es la necesidad la que motiva la introducción de nuevos términos. Watznauer ha examinado este crecimiento en forma crítica y concluyó que el propósito de la terminología está siendo destruido por la adición sin control de términos especializados. Argumenta que un nuevo término debe representar una adición al conocimiento y que también son innecesarios muchos términos debido a que simplemente reexpresan lo que ya se conoce de antes. Observa que están siendo introducidos términos sin definiciones precisas y que, por lo tanto, no sirven como punto de referencia para el estado del conocimiento en un momento dado.

Watznauer (1956) observa que el científico individual, incapaz de habérselas con muchos términos que se aplican a los subcampos especiales, abandona el esfuerzo para estar al tanto del conocimiento en otras especialidades fuera de la suya. También está consciente de que la terminología amenaza convertirse en la maestra de la ciencia y artificialmente provoca la especialización que tiende a desunir los campos. Este argumento simplifica en exceso la explicación de la fragmentación real o evidente de las ciencias. El incremento real en el acopio del conocimiento es todavía un factor apremiante al limitar el alcance del interés individual y el de la capacidad para comprender una ciencia. En el caso de la geología, los vocabularios especializados no causan el cambio de los subcampos hacia la afiliación con otras ciencias, pero una vez que el movimiento se ha iniciado sirven para reforzarlo.

Diccionarios monolingües

Los diccionarios y otros tipos de vocabularios son la medida de la cantidad y clase de atención que se proporciona al tema de la terminología. Los registros bibliográficos y estadísticos de todos los tipos de diccionarios monolingües y multilingües en todo el mundo, publicados por la UNESCO (1961, véase también Wüster, 1955, 1959), muestran que los diccionarios geológicos son escasos actualmente y no existe prueba alguna de que fueran más comunes en el pasado.

Los diccionarios pueden clasificarse como generales o especializados, con referencia al alcance de sus campos y al grado de integridad dentro de estos campos. En una interpretación estricta, un diccionario general es aquel que cubre toda la terminología de un campo en un momento dado. Un diccionario geológico completamente inclusivo pudo haberse compilado en el pasado, pero por ahora no parece existir ninguno. Por casualidad, el diccionario geológico general moderno es aquel que tiene un amplio alcance en cuanto a la termino-

logía pero son omisiones intencionales de las áreas de un tema o de categorías de términos.

Los diccionarios especializados no tienen por qué conformarse a cualquier tipo de alcance o de integridad, puesto que pueden ser publicaciones separadas de tamaño considerable con un alcance completo de un orden establecido o de las materias que trata; pero por lo común son glosarios y vocabularios anexados a los libros geológicos, a los trabajos y a las explicaciones de mapas.

En el siglo XIX se publicaron en inglés cuatro diccionarios geológicos generales —por Roberts en 1839, por Humble en 1840, por Page en 1865 y por Oldham en 1879— los cuales son citados en los diccionarios modernos como antecesores. Los diccionarios modernos que han sido examinados para esta discusión son los preparados por Rice (1940), Himus (1954), Stokes y Varnes (1955), el AGI Glossary Project (1957; segunda edición que contiene un suplemento, 1960; versión abreviada, 1962) y Challinor (1961).

Los diccionarios Rice y AGI son de un gran alcance y están destinados principalmente a los geólogos profesionales. El diccionario Rice (1940), con un total estimado de 8 000 términos fue el diccionario geológico más grande del idioma inglés en el momento de su publicación. Con 14 000 términos en la edición original y cerca de 4 000 más en el suplemento, el diccionario AGI es el que más se aproxima a un diccionario geológico totalmente inclusivo disponible hoy día. Algunos de los compilados en el siglo XIX pueden haber cubierto un cuerpo más pequeño de la terminología de aquel tiempo igualmente íntegra. Por ejemplo, Humble (1840) definió en su diccionario publicado en 1840, cerca de 3 000 términos y añadió 300 a la segunda edición de 1843.

La diferencia en tamaño de los diccionarios Rice y AGI indica parcialmente el crecimiento de la terminología en un periodo de menos de 20 años. También es índice de los grandes recursos humanos aplicados en exceso al AGI Project. Después de unos cuatro años de planeación llevada a cabo por representantes de numerosas organizaciones, comités locales, y en la cual participaron más de 80 individuos, se consumieron tres años y cuatro meses para seleccionar términos y proporcionar definiciones. El diccionario Rice fue compilado por una persona que no era geólogo profesional y ni siquiera recibió ayuda organizada y empleó un periodo de muchos años.

Como trabajos de gran alcance, los diccionarios Rice y AGI necesariamente cubren con amplitud los campos geológicos. Los compiladores del diccionario AGI consideraron 30 campos de la geología y ciencias afines e incluyeron unos cuantos en la compilación final. La terminología de cada campo está completa excepto en unos cuantos casos, por las razones que se establecen en el prefacio del diccionario. El alcance limitado se justificó principalmente por la existencia de diccionarios especializados accesibles o de trabajos de consulta sobre términos y nombres del área de un tema. En el diccionario Rice, la única exclusión anunciada fue una nomenclatura estratigráfica y paleontológica aunque realmente contiene una gran cantidad de nombres estratigráficos.

El diccionario Himus (1954) y la versión abreviada del diccionario AGI son clasificados como diccionarios generales selectivos. Ambos fueron publicados en series de libros de consulta de tamaño de bolsillo destinados para el lector general. El diccionario Himus, el de volumen más pequeño, contiene unos 1 800 términos y nombres. El diccionario abreviado AGI con 7 000 anotaciones, o sea cerca de la mitad del contenido de la segunda edición del diccionario original, es un trabajo de gran alcance a pesar de su formato. Establece una nueva escala para los diccionarios geológicos selectivos. Hace dos décadas, el diccionario más completo era un poco menos de 10% más grande que esta obra abreviada actual. El diccionario selectivo más grande publicado previamente contenía menos de la mitad de tales términos.

Stokes y Varnes (1955) seleccionaron 2 800 términos que satisfacían completamente el campo de la geología y que consideraban eran de interés para los ingenieros civiles y especialistas afines. Las omisiones específicas son nombres estratigráficos, muchos nombres de rocas y términos más generales y elementales de la mineralogía y de la petrología. Es dudoso que el público haya determinado que la información omitida no tenga ningún uso. Cuanto han realizado estos autores es como para enfocar el problema de la abreviación. Distinguen la información que debe quedar convenientemente registrada en un diccionario general abreviado de aquella que pertenece a una clase de diccionarios generales no abreviados y especializados.

Challinor (1961) explica su propósito al compilar datos para un diccionario geológico con este enunciado:

> Entre los trabajos de geología parece que debe haber espacio al menos para uno con el que se probará el tema que se trata por medio del examen del significado y uso habitual de los nombres y de los términos que representan los más significativos hechos, cosas y conceptos de la ciencia. Este pequeño libro es un ensayo hacia un examen crítico e histórico de un selecto ABC de la materia.

Challinor emplea el formato de un diccionario para presentar sus comentarios del tema geológico, tratando la terminología como una manifestación del estado del conocimiento geológico y el grado de madurez de la ciencia en las diferentes épocas de su historia. En

forma secundaria, suministra un estudio sobre el uso habitual, fuente de información y etimología de vocablos geológicos y no proyecta presentar un alcance completo en esta selección de unos 1 250 términos y 300 nombres, que pertenecen a los subcampos de la geología, a la cual son agregados 250 vocablos geológicos generales, denominaciones de elementos de trabajo y conceptos y términos que se han tomado prestados de la física y de la química.

Además de los cinco diccionarios mencionados, hay otros dos modernos que contienen una amplia representación de la terminología geológica, aunque no son específicamente geológicos. Estos diccionarios son: el que contiene los términos de la industria de la explotación de minas y de los minerales [cuyo autor es Fay (1920)], y el geográfico, preparado por un comité (Presidente, L. D. Stamp) de la British Association for the Advancement of Science (BAAS), el cual fue publicado en 1961.

El volumen de Fay (1920) contiene 20 000 términos, o sea 8 000 más de los que aparecieron en la primera edición del diccionario AGI. En esta compilación, Fay contó con seis colaboradores activos y 12 revisores de definiciones. Pueden considerarse cerca de 4 000 términos como geológicos. De esta manera, el diccionario de Fay también fue el primer diccionario geológico más extenso publicado en los Estados Unidos. Sólo son omitidos, específicamente, los términos paleontológicos, pero, de acuerdo con el propósito del trabajo, la mayoría de los términos geológicos son nombres de minerales y rocas.

El diccionario BAAS (1961) puede considerarse como la contrapartida geográfica del diccionario AGI puesto que también es el resultado de un examen intensivo de la terminología con el propósito de producir un diccionario general de mayor alcance. El proyecto BAAS tomó aún más tiempo que el del AGI. En una primera etapa, se intentó progresar bajo los lineamientos marcados por el BAAS hasta que el esfuerzo del comité del diccionario cesó virtualmente en sus funciones después de tres años. El proyecto se reanudó con un comité reorganizado de doce miembros, apoyado esencialmente por cincuenta y ocho colaboradores, muchos de ellos extranjeros. Se eligió un investigador para preparar una lista inicial de términos y definiciones. Esta tarea se llevó a cabo en un año. En los siguientes seis años Stamp, quien también fue el editor del diccionario, cuadruplicó la lista de términos y con la ayuda de los otros miembros del comité y los colaboradores, revisó las definiciones y preparó comentarios de las mismas.

Con un total estimado de solamente 3 200 términos, el diccionario BAAS todavía puede clasificarse como un diccionario completo y abreviado. El tamaño no indica que sea un diccionario selectivo

de la materia que trata sino, a lo más, una limitación intencional de "los términos de la literatura corriente geográfica escrita en inglés". El criterio de la aceptación general no se aplica a cualquiera de los otros diccionarios que se consideran en este ensayo.

El diccionario BAAS contiene muchos términos usados en geografía que también se identifican con los vocabularios de geología, de climatología, de meteorología, de edafología y de ecología. Respecto a la terminología geológica, Stamp advierte las siguientes omisiones: nombres de minerales, nombres de rocas, excepto algunos que, "por lo general se abusa de ellos o se toman en sentido erróneo y los que se aplican a grupos amplios"; todos excepto unos pocos nombres estratigráficos (mucho más de 200 son registrados en un apéndice del diccionario) y también todos excepto unos cuantos términos tectónicos importantes. Estas omisiones, principalmente de la nomenclatura, no indican una estrechez del interés sobre la materia geológica entre los que profesan la geografía física. Los geólogos podrían suponer que la mayoría de los términos en el diccionario fueron tomados del campo de la geomorfología. Realmente, los términos geomórficos ascienden a menos del 10% del total de los términos geológicos. El alcance de los términos geológicos es tan amplio que, según la revista "The Geochemical News",[3] el diccionario contiene muchos términos de interés "para los geólogos, para los mineralogistas, para los petrólogos y aun para los geoquímicos".

El significado fundamental del amplio uso de la práctica del préstamo y de la distribución de la terminología y de los temas tratados entre las ciencias es que ya no han logrado separar por más tiempo las áreas de interés. En realidad, los límites entre los campos principales están desapareciendo rápidamente. Puede hacerse la siguiente pregunta: ¿Cuáles serán las marcas que identifiquen a los campos individuales en el futuro? La respuesta, por parte de la geología, es dada por C. W. Wright (1959), quien caracterizó a este campo como un grupo de ciencias unificadas por una perspectiva especial, la cual describe como el sentido del tiempo y del proceso. Wright menciona solamente la química, la biología, la geografía y la meteorología como ciencias que se unen para un propósito especial en la geología, aunque todavía hay otras ciencias que son familiares en sus orientaciones geológicas. Si se acepta la interpretación de Wright, entonces surge la pregunta de si la geología lo fue todo, menos una perspectiva, sobre los problemas tratados desde otros puntos de vista por otras disciplinas. Actualmente, la identificación de campos como la geofísica, la geoquímica, y la geohidrología se considera ampliamente como una prueba de la fragmentación de la cien-

[3] Véase la H., en las referencias.

cia geológica. Por el contrario, estos subcampos son eslabones interdisciplinarios que siempre han existido entre la geología y otras ciencias, pero que no fueron reconocidos antes. En los procesos de identificación de estos eslabones, el concepto de la geología como una disciplina completamente separada se está convirtiendo en obsoleto. Al igual que otras ciencias que ya han abandonado una autonomía imaginaria, la geología se llegará a identificar como un punto de vista importante que influye en las investigaciones en un grupo de campos interdisciplinarios en los que la influencia geológica puede ser dominante pero, de tiempo en tiempo y de lugar en lugar, indudablemente será suplantada por la influencia de otras disciplinas participantes. Está fuera de toda realidad clasificar estos campos como ramas de algunas de las disciplinas participantes, aun cuando ellas fueran primero reconocidas dentro de las disciplinas únicas. De esta manera, la geofísica es una rama tanto de la geología como de la física, la geoquímica no es propiedad exclusiva de la geología o de la química y es propio de geógrafos y geólogos ser geomorfólogos.

El reemplazamiento de las distintas ciencias por las interdisciplinas ha sido simbolizado por la terminología reunida en los diccionarios técnicos modernos. Por razones prácticas, los diccionarios generales inclusivos son forzados a omitir todos los vocabularios completos de los subcampos existentes de la ciencia y de las interdisciplinas en las cuales participa. Básicamente los compiladores se encaran con el problema de definir los límites del campo pero encuentran que la solución es cada vez más difícil. Por lo tanto, el diccionario general debe abandonar su carácter de inclusivo y la carga de registrar la terminología completa debe ser distribuida entre los diccionarios especializados.

Se ha establecido una función para el diccionario BAAS que consiste en servir a aquellos cuya lengua nativa no es el inglés, debido a que este idioma se está convirtiendo "cada vez más en el medio normal para la literatura científica y para la publicación". Esta conclusión fue confirmada por los revisores del diccionario geológico multilingüe de la Royal Netherlands Geological and Mining Society, diccionario en el que, como publicación holandesa, el holandés fue la lengua de referencia en la edición original de 1929. En la revisión publicada en 1959, el inglés ocupó esta posición debido a que los compiladores encontraron que iba tornándose en el idioma dominante de la literatura geológica.

Los compiladores de este diccionario se refieren al inglés como medio dominante sin explicar que este "inglés" es el usado en la comunicación científica. Con respecto a la terminología, como ya fue indicado en la primera discusión sobre las fuentes de información

de los términos, una parte significativa consiste en términos extranjeros adoptados con poco o ningún cambio por los conferencistas en el idioma inglés. De esta manera el diccionario BAAS contiene alrededor de 900 términos, más de una cuarta parte del total, de 31 idiomas extranjeros o grupos de idiomas. Se ha supuesto que estos términos han sido asimilados por el inglés y ahora son partes integrantes del medio de comunicación que se llama inglés. En realidad, está implicada una terminología internacional.

Los nativos de las áreas de las lenguas extranjeras usan la llamada terminología inglesa apoyada en un sostén al que aluden como la lengua inglesa. Examinada en esta forma, se encuentra que dicha lengua es una *lingua franca* geológica compuesta principalmente de vocablos ingleses usados frecuentemente bajo formas poco familiares por los conferencistas de habla inglesa y de vocablos semejantes al inglés que parecen ser inventados, más o menos espontáneamente, por los conferencistas extranjeros. En la gramática y en el estilo, a menudo mantiene una mayor afinidad con algún idioma extranjero que con el inglés. Los científicos nacidos en el exterior llevan esta *lingua franca* a las áreas de habla inglesa donde, desafortunadamente, muchos continúan usándola también. De este modo complican el problema de la comunicación científica añadiendo la incuria a la indiferencia y el desafío ya prevalecientes hacia el buen uso del lenguaje.

Las dificultades creadas por el uso de términos extranjeros y el uso defectuoso del inglés por los extranjeros son acrecentadas por las diferencias entre el inglés de Estados Unidos y el de Inglaterra. El diccionario BAAS considera estas diferencias en el uso de la terminología, las cuales ocurren tanto en los términos como en el uso habitual. Las más difíciles son las que se refieren al uso habitual, las cuales se inclinan a ser examinadas por los conferencistas de habla inglesa. El grado al cual difiere la terminología británica de la estadounidense se demuestra por el diccionario geológico Himus. Aproximadamente 400 términos del total estimado de 1 800, son términos y nombres británicos los cuales no son utilizados con regularidad, si es que se utilizan todos, por los estadounidenses y no son más significativos para ellos que los vocablos extranjeros.

En los proyectos de grupo es difícil obtener una acuerdo sobre las definiciones. El BAAS dio instrucciones al comité de su primer diccionario para que preparara "un glosario de términos geográficos con definiciones convenidas en inglés, incluyendo referencias relativas al origen y a los usos habituales previos y al uso y abuso comunes". El comité reorganizado evaluó la carga y concluyó que el esfuerzo para preparar definiciones que deberían encontrarse con la aprobación completa de los miembros tendría que ser abandonado,

Ulteriormente descubrieron que mientras pueden hallarse definiciones originales para los términos recientes, muchos términos antiguos han alcanzado la aceptación sin el beneficio de una primera definición registrada específicamente. El comité prefirió aceptar de una fuente de información tipo, generalmente la del Oxford English Dictionary, al menos un significado claro y establecer usos habituales variantes de la literatura técnica.

El diccionario AGI ofrece una combinación de tipos diferentes de explicaciones. Probablemente los comités locales se avinieron a la pretensión de encontrar la definición original u otra decisiva antes de escribir una nueva. El acuerdo sobre aceptar una definición existente o preparar una nueva recayó en la responsabilidad de cada comité. Estos comités variaban en número, desde un miembro hasta doce, con un promedio de unos tres. Existe una prueba visible de una carencia de uniformidad en el manejo de las definiciones, la cual, al igual que las variaciones en el alcance de los temas, es probablemente el resultado de delegar una amplia responsabilidad. El hecho de que tales irregularidades son inconvenientes fue reconocido por los compiladores, pero las que ocurrieron no fueron corregidas debido a que se creyó que habían consumido mucho tiempo en el proyecto para permitirse una mayor demora para la publicación. En vez de eso se anunció una inmediata revisión del diccionario en relación a las omisiones y errores y en la que los lectores fueron invitados a participar, lo cual produjo 4 000 términos adicionales y redefinidos. La revisión del diccionario parece comprobar que es muy bajo el número de expertos que puede esperarse se pongan de acuerdo sobre la selección adecuada y definición de términos en sus propios vocabularios especiales.[4]

Diccionarios poliglotas

El propósito básico de estos diccionarios es coordinar la terminología en diferentes lenguas y como una ayuda a la lectura y traducción de obras en idiomas extranjeros. La función es suministrar equivalentes, no definiciones. Tales diccionarios son, como Holmstrom señala (1951), "capaces de fomentar la ilusión de que cada palabra en una lengua tiene necesariamente su contrapartida exacta y autosuficiente en otros idiomas". La presencia de lagunas o la ausencia de equivalentes se ha ilustrado al principio de esta discusión por el ejemplo de la terminología geológica en cuatro lenguas. Donde no existen equivalentes, el lector o traductor debe prepararse para representar o para expresar el témino en alguna otra manera, generalmente por una frase. También tendrá la oportunidad de reducir el enunciado en una lengua a una palabra en la otra.

[4] El siguiente enunciado aparece en la Pág. iii del diccionario AGI: "La selección de definiciones utilizadas fue hecha por los miembros de los subcomités cuya lista se encuentra abajo. Las definiciones desacreditadas (sic!) fueron escritas por estos comités o individuos". Al ser impresa, la segunda oración afirma que las definiciones que no se atribuyen a una fuente de información no son definiciones aprobadas. Esta manera de expresar la inseguridad de los comités y de sus miembros puede interpretarla cada lector a su propia satisfacción.

El vocablo o la expresión técnicos están rodeados por otros vocablos que crean el contexto. La unidad real de la equivalencia entre los idiomas es, por lo común, una frase o una oración más que un vocablo. Holmstrom (1951) establece que

> Principio principal de una buena traducción es traducir no palabras sino fundamentalmente ideas. El efecto de la lectura de una oración en un idioma debe ser el de generar en la mente del traductor un articulado patrón de ideas, de tal manera que le haga olvidar la fraseología en la que fueron expresadas tales ideas originalmente y así proceder a reexpresarlas haciendo su profesionalmente selección educada y el arreglo de los vocablos en el otro idioma.

El lector científico también debe adoptar este principio y no contentarse con saber aproximadamente lo que ha dicho el autor extranjero en su idioma, aunque esto le exija conocer completa e idiomáticamente tanto su propia lengua como la extranjera. Por decirlo así, el lector o traductor debe dominar lo mejor posible ambos idiomas, el propio y el ajeno.

Muchos diccionarios técnicos poliglotas, además de presentar el idioma en unidades incorrectas, contienen una superabundancia de términos inaplicables e innecesarios de acuerdo con la opinión experta de Holmstrom (1951). Estos diccionarios están sobrecargados de términos "indeseables", los cuales son vocablos ordinarios de diccionario, afines y compuestos de elementos fácilmente identificables. En un examen de siete diccionarios técnicos bilingües, Holmstrom encontró que el contenido promedio de términos "indeseables" era un 90% del total.

Como medio de comparación, fueron aplicados los criterios de Holmstrom al diccionario geológico alemán-inglés de Huebner (1939). Se encontró que contiene mucho material superfluo, como en cualquiera de los otros exámenes hechos por Holmstrom. Huebner incluye términos en número incontable que son idénticos en alemán y en inglés o que difieren sólo ligeramente en ortografía; palabras compuestas con significados obvios de sus elementos y muchos vocablos y partes de palabras compuestas que se encuentran en el vocabulario general del alemán o del vocabulario científico común. Por una adhesión estricta a los criterios, el diccionario de Huebner tendría que ser reducido de 25 000 anotaciones a cerca de 3 000.

Considerando la revaluación de los criterios de Holmstrom, es evidente que presuponen un nivel muy alto de capacidad en el conocimiento de los idiomas que el que puede esperarse de los lectores científicos. No es práctico suponer que estos lectores puedan analizar la estructura de la palabra en idiomas extranjeros. Las palabras "indeseables" en los diccionarios poliglotas pueden, por lo tanto, ser esenciales a la mayoría de los lectores científicos. Los traductores, como el otro grupo principal de quienes los utilizan, deben ingeniárselas para afrontar la carencia de palabras comunes en un diccionario técnico aunque necesitan de una ayuda precisa para descifrar los términos técnicos y sus derivados. El traductor profesional carece típicamente de pericia en los vocabularios técnicos en cualquier idioma, como lo demuestran ampliamente las traducciones publicadas.

Cuando se reexamina el diccionario de Huebner en función de su utilidad para los lectores con un conocimiento desigual del alemán y del inglés, surge como una obra enciclopédica de cualidades y valores reales. Además de su función fundamental, da información sobre los hábitos regionales de las terminologías geológicas de ambos idiomas y, además, con frecuencia proporciona más que simples vocablos equivalentes e indica el uso incorrecto de los términos alemanes en el inglés. Desafortunadamente, la parte inglés-alemán de este diccionario no se ha publicado hasta la fecha.

Los diccionarios bilingües comúnmente tienen dos partes, y cada parte contiene el idioma que se considera como de referencia. En efecto, son pares de diccionarios en los que el contenido de ambas partes está en mutua referencia. Sería ideal que todos los términos utilizados en una parte apareciesen en la otra, pero el propósito del diccionario puede dictaminar diferencias. Por ejemplo, Fischer y Elliott (1950) explican que en el glosario de términos geográficos alemán e inglés, la parte inglés-alemán "no está proyectada principalmente para el estudiante alemán, quien necesita leer la literatura geográfica inglesa, sino para el geógrafo de habla inglesa quien desea establecer la equivalencia entre los términos alemanes e ingleses". De esta manera, a causa de que "muchos términos en inglés no son fácilmente traducibles al alemán", entonces "se encuentran únicamente en la parte inglés-alemán". También "los términos que son prácticamente los mismos en ambas lenguas se incluyen, en general, solamente en la parte inglés-alemán; los lectores en inglés, reconocen, por lo común, tales vocablos, pero pueden titubear para usarlos en una lengua extranjera. Esto es cierto especialmente para los términos ingleses usados en el alemán... y para los términos de otros idiomas... usados en ambas lenguas". El privilegio para los de habla inglesa que utilizan el diccionario es que la parte alemán-inglés es

la más grande, puesto que su principal problema es entender la literatura alemana y no traducir el inglés al alemán.

En los diccionarios multilingües, los diccionarios adicionales pueden manejarse de la misma manera como se hace con las dos lenguas de los diccionarios bilingües. La repetición completa de todos los términos, tantas veces como lenguas hay en el diccionario, facilita mucho el trabajo para el grueso del público que lo utiliza. En una variante de este ordenamiento, un diccionario geológico trilingüe preparado por la organización geológica militar del ejército alemán durante la Segunda Guerra Mundial[5] contiene una parte alemán-francés-inglés seguida de una de francés-alemán y otra de inglés-alemán. Comenzando con un término francés o inglés en la segunda y tercera partes, respectivamente, el equivalente alemán puede utilizarse para encontrar el equivalente en cualquiera de los otros dos idiomas en la primera parte. De esta manera, aunque ha sido destinado para los alemanes y ordenado para su conveniencia, este diccionario puede ser utilizado con efectividad por los conferencistas de habla inglesa o francesa.

En todos los diccionarios discutidos hasta ahora, los términos están puestos en orden alfabético. Este ordenamiento sencillo es reemplazado en algunos diccionarios poniendo los términos en una lista basada en algunos tipos de asociación de significados.

Ambas ediciones del diccionario multilingüe de la Royal Netherlands Geological and Mining Society (Rutten, 1929; Schieferdecker, 1959) ilustran un ordenamiento de los términos no alfabético. En este diccionario general, el campo de la geología está dividido en ramas o temas principales los cuales son subdivididos ulteriormente en forma local.[6] De acuerdo con Schieferdecker, quien publicó la segunda edición, el ordenamiento de los términos es genético. La caracterización es apropiada para varias series de términos dentro de divisiones locales, pero es insignificante para el diccionario como un todo a causa de que muchos términos no tienen connotación genética y así su orden puede no tener un significado genético. Schieferdecker recomienda el así llamado arreglo genético como conveniente para el lector ya que facilita bastante encontrar los términos. Por el contrario, el índice alfabético es la única guía conveniente para los mismos.

En otro ejemplo donde los términos no están arreglados en forma alfabética, Challinor (1961) los registra en un índice clasificado bajo 48 encabezados de grupo. De acuerdo con Challinor, "dentro

[5] Véase Wehrgeologenstab Wannsee en las referencias.

[6] La primera edición (1929) contiene 8 divisiones primarias y 44 secundarias; la segunda (1959) tiene 74 divisiones primarias y 107 secundarias. El gran aumento de las divisiones primarias y secundarias en la segunda edición puede deberse a varias causas indicadas en la discusión previa de los diccionarios en inglés. El efecto del aumento es el de suministrar más estructura para la localización de los términos en el diccionario.

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES

de cada grupo se hace el intento de ponerlos en algún orden lógico". Algunas series de términos son familiares y, por lo tanto, parecen ser lógicas, pero otras son arbitrarias y completamente personales. En este caso, el que lo usa puede prescindir del índice y buscar términos directamente en la lista alfabética del propio diccionario.

A pesar de la inconsistencia de la lista que no sigue el orden alfabético, ofrece la ventaja de agrupar la terminología por temas y tópicos. El que la usa y dispone de tiempo para hojear un libro puede obtener una idea completa de la terminología de un tópico sin la distracción de entremezclar términos que no son afines. El plan convierte al diccionario general en una serie de diccionarios especializados.

El orden asociativo de los términos en un diccionario es una aproximación indirecta al problema de colocarlos en el contexto. El efecto adicional de las series de vocablos con connotaciones afines puede crear una impresión de los lugares en los que son usados apropiadamente. Se adquiere una aproximación directa por el ejercicio de la lectura científica de libros ideados para el uso de la enseñanza de lenguas extranjeras. Las selecciones que se hagan de la literatura extranjera pueden ser traducidas en su totalidad al lenguaje del traductor y además deben imprimirse los textos originales o solamente son traducidos los términos técnicos y otras expresiones selectas o frases que se citan como notas al pie, notas laterales o vocabularios anexados. Estos libros no son las presentaciones sistemática de la terminología, pero son utilizados a menudo en lugar de los diccionarios para la adquisición rápida de un vocabulario extranjero especializado.

Una aproximación sistemática directa al problema de coordinar la terminología en dos o más idiomas demanda un esfuerzo que va más allá de la traducción y de la compilación. Hacia el final del siglo XIX, de Margerie y Heim (1888) se interesaron por la terminología, cada vez más equívoca, de las dislocaciones corticales. Se echaron a cuestas la responsabilidad de dar mayor claridad a los conceptos de dicha materia al publicar traducciones paralelas de su texto en francés y alemán. Cuando aparecían los términos técnicos, eran interrumpidas las líneas del texto centrándose en la página los términos especiales franceses y alemanes. Además se proporcionaba cualquier equivalente en inglés de los términos franceses y alemanes. Los autores también agregaron las referencias de las fuentes de información de los términos y ejemplos de usos habituales.

Baulig (1956), inspirado por este viejo trabajo, publicó un estudio sobre la terminología de la geomorfología en francés, inglés y alemán, con atención incidental a otros idiomas, especialmente el

árabe. El texto está en francés. Baulig dividió la materia en muchos temas que discutió sistemáticamente en más de 500 párrafos estimados. Inmediatamente después de la aparición en el texto de un término especial francés se insertaban equivalentes en francés, en inglés y en alemán y en ocasiones, también términos y equivalentes dialécticos en otros idiomas. El mismo término puede aparecer en varios lugares del volumen para explicar su uso habitual en contextos diferentes. Un índice combinado se refiere a los párrafos estimados y también son señalados los usos habituales diferentes por medio de referencias de una parte de un libro a otra en el texto. Baulig resumió el propósito de su estudio como sigue: revelar al francés las fuentes de información, comúnmente insospechadas, de su propio idioma; ayudarle en la lectura y posiblemente en la traducción de la literatura extranjera y contribuir a la revisión del vocabulario internacional de la geomorfología.

Ambos estudios atestiguan la ingeniosidad y erudición de sus autores. Han producido una combinación de diccionarios monolingües y poliglotas y textos explicatorios que pueden utilizarse para una variedad de propósitos. Baulig puede haber tratado en su estudio el agrupamiento práctico más grande de esta materia. Es ligera la posibilidad de aplicar este plan a un diccionario general. Estos estudios son el apoyo de un argumento para léxicos especializados detallados los cuales pueden describir el lenguaje técnico en unidades significativas.

Los diccionarios poliglotas llaman la atención sobre la gravedad del problema de la comunicación científica mundial. Al carecerse de un idioma internacional, la manifestación primaria de un idioma es la de que no es utilizable directamente por aquellos que no tienen el conocimiento literario de aquel idioma. Un examen reciente de los efectos de las barreras idiomáticas en las ciencias terrestres fue hecho por Emery y Martin (1961), quienes encontraron que la literatura contiene referencias, por lo común, "a fuentes de información del mismo país del autor, indudablemente debido a la familiaridad con el idioma y a la facilidad de acceso". También observaron que la segunda fuente de información más frecuente para los que no escriben en inglés es la literatura estadounidense y británica, "probablemente debido a que el inglés es la lengua más familiar en el mundo científico".

Las barreras idiomáticas están siendo disminuidas, aunque no eliminadas, por la publicación simultánea de los epítomes, en uno o más de los otros idiomas que son usados ampliamente, junto con el texto completo original. Las publicaciones y volúmenes de epítomes editados periódicamente en varios idiomas importantes son guías

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES

inapreciables para la literatura universal. El depender de los epítomes de la literatura extranjera es parangonado con la confianza creciente en los epítomes en el propio idioma del que los utiliza. El epítome se está convirtiendo en la unidad de lectura fundamental en vez de servir como una guía de las publicaciones.

La disyuntiva es la de hacer un epítome completo de la literatura de la lengua extranjera o bien la traducción completa sustancialmente. Mientras que los epítomes son preparados, por lo común, por especialistas en la materia, las traducciones son generalmente el trabajo de los traductores profesionales. El valor de la integridad de una traducción puede disminuir por las deficiencias en la interpretación de la información técnica. La traducción es, por lo tanto, una forma de superar las barreras idiomáticas que deben ser adoptadas solamente si se justifican. La justificación primaria no es la existencia de una barrera, sino la importancia de la literatura y la necesidad de tener satisfecho su conocimiento.

Actualmente, en los Estados Unidos el volumen de la traducción de la literatura rusa confirma la incapacidad de muchos de los científicos de ese país para leer el ruso. Si las traducciones preparadas hasta ahora han establecido la importancia del trabajo científico de Rusia, entonces la solución natural para los científicos estadounidenses es aprender a leer el ruso y no depender de ulteriores traducciones. En defensa de la traducción en gran escala, pueden citarse las oportunidades limitadas para estudiar ruso en las escuelas estadounidenses. Por otro lado, las amplias oportunidades para estudiar lenguas extranjeras no garantizan un aprovechamiento permanente.

Emery y Martin (1961) demostraron que los investigadores en ciencias terrestres de nuestro país no informan sobre el uso en forma extensiva de las fuentes de información francesa y alemana, aunque la literatura en estos idiomas es voluminosa. Un informe sobre el adelanto en las lenguas extranjeras, publicado por el U. S. National Science Foundation (1961), explica la razón de esta observación admirable. Dicho informe está basado en una investigación hecha entre 100 000 científicos estadounidenses quienes suministraron la siguiente información: (a) "84% estableció que podía leer material científico o técnico en lengua extranjera"; (b) de este grupo solamente "30% estimó su capacidad como buena"; (c) "solamente 12% estimó su capacidad como 'buena' para leer el alemán; para el francés, el porcentaje fue de 9% . . ."

Aunque muchos europeos son capaces de hablar varios idiomas, también se plantea para ellos el problema del creciente número de lenguas en las que se escribe la literatura científica. En 1927, en

Alemania, Salomón se sintió desalentado al comprobar que cada vez aumentaba más el problema de la comunicación universal del conocimiento geológico. Predijo, quizá no con una completa jocosidad, que el geólogo del futuro consumirá sus primeros 80 años aprendiendo idiomas y entonces estará en condiciones de comenzar a aprender geología. También propuso la adopción del latín como el lenguaje de la comunicación geológica internacional, pero fue lo suficientemente realista para prever una fuerte oposición. Desde hace tiempo decayó la perspectiva de éxito para esta propuesta, pero la necesidad de una lengua internacional es más grande que nunca.

El uso del inglés, que cada día aumenta más en la comunicación científica, puede conducir algún día al reconocimiento internacional de esta lengua, pero no existen perspectivas de que desplazará a los otros idiomas en un futuro inmediato. Hasta que llegue tal día, los geólogos y otros científicos que dependen del idioma para expresar casi todo su conocimiento deben recordar la grave conclusión establecida por Emery y Martin (1961) de que:

> . . .la ciencia está avanzando en cada país en forma amplia e independientemente del progreso logrado en otros países. Esto es. . . extremadamente ruinoso para el potencial humano, para las oportunidades de trabajo y para el tiempo aunque suministre una confirmación independiente de las ideas y técnicas. Su existencia significa que, probablemente, la mayoría de los científicos de manera tácita suponen que es más fácil hacer descubrimientos independientes que aprender de otros trabajos anteriores, cuando de estos últimos se informó en un idioma que no es familiar.

Observaciones concluyentes

Los problemas de la terminología y su crecimiento desenfrenado, el de los diccionarios con sus contenidos y orden, el de los otros modos de comunicación aparte del idioma y el intercambio poliglota de la información científica, resultan insignificantes ante los problemas aún más complejos causados por el crecimiento exuberante de la literatura.

Emery y Martin (1961) observaron que:

> . . .un científico de un campo dado se enfrenta no solamente con una inundación de publicaciones en su propia lengua, sino también con las similares en otras lenguas. Puesto que hay un límite tanto en su tiempo como en su capacidad para asimilar este material, el científico puede elegir un campo tan pequeño para especializarse que le permita leer mucha literatura o, bien, puede escoger un campo más grande e ignorar gran parte de la literatura, particularmente aquella que es difícil de leer y obtener.

Parece que los problemas han adquirido importancia en nuestros tiempos. Hace casi 70 años, cuando el diluvio de la literatura era

unas cuantas gotas comparado con el actual, Archibald Geikie (1897) dijo casi lo mismo:[7]

> Con pena me he enterado de cómo cada vez es más difícil mantener el paso con la marea siempre creciente de la literatura geológica moderna. De esta manera, la ciencia en sí misma se ha ampliado y las rutas hacia la publicación también se han multiplicado en forma tan prodigiosa, de tal manera que uno casi es empujado irremediablemente a ser un especialista para confinar nuestra lectura a aquella porción de la literatura que trata específicamente una rama de nuestra ciencia. Pero esta estrechez de la variación de nuestro interés y conocimiento tiene un efecto marcadamente perjudicial sobre el carácter de nuestro trabajo.

Geikie continúa con advertencias que deben repetirse hoy día:

> La única consolación que podemos encontrar es la convicción, la que soportamos debido a una experiencia amplia y penosa, de que una masa muy grande de literatura geológica actual carece totalmente de mérito en relación con cualquiera de los propósitos más elevados de la ciencia y que puede, con seguridad y ventaja, en cuanto al tiempo y disposición de ánimo, dejarse de leer. Si los geólogos, y especialmente los jóvenes, pudieran comprender verdaderamente que la adición de otros trabajos a la ya engrosada inundación de nuestra literatura científica implica una grave responsabilidad; que nadie debe publicar nada que no tenga una consecuencia y que cuando alguien publique sus enunciados, éstos deberán ser tan claros y condensados hasta donde sea posible hacerlo, un cambio agradable se reflejaría en los rostros de sus lectores y, en gran parte, conducirían al avance real de la ciencia a la que desean servir.

REFERENCIAS

American Geological Institute, 1957, Glossary of geology and related sciences: Washington, D. C., Am. Geol. Inst., 325 pp.; 2nd ed. (with supp.), 1960, 420 pp. Abr. ed., 1962, Garden City, N. Y., Doubleday, 545 pp.

Baulig, Henri, 1956, Vocabulaire franco-anglo-allemand de géomorphologie: Paris (Soc. d'Edition: Les Belles Lettres) Univ. Strasbourg, Fac. Lettres, Publ., fasc. 130, 230 pp.

Brown, R. W., 1956, Composition of scientific words: Washington, D. C., U.S. Natl. Mus., The Author, 882 pp.

Burt, F. A., 1949, Origins of geologic terms: Sci. Monthly, vol. 69, pp. 20–22.

Challinor, John, 1961, A dictionary of geology: Cardiff, Univ. of Wales Press, 235 pp.

Cloos, Hans, 1933, Wie sag ich's meinen Fachgenossen?: Geol. Rundschau, Bd. 24, pp. 225–228.

Darlington, C. D., 1953, The facts of life: London, G. Allen & Unwin, 476 pp.

Emery, K. O., and Martin, B. D., 1961, Language barriers in earth science: GeoTimes (Am. Geol. Inst.), vol. 6, no. 2, pp. 19–21.

Evans, Bergen, 1962, Comfortable words: New York, Random House, 379 pp.

[7] Se cita el texto de la primera edición (1897, Págs. 287-288) de "Founders of Geology" de Geikie. A la segunda edición se le hicieron varios cambios (1907, Págs. 471-472).

Fay, A. H., 1920, A glossary of the mining and mineral industry: U.S. Bur. Mines, B. 95, 754 pp.

Fischer, Eric, and Elliott, F. E., 1950, A German and English glossary of geographical terms: Am. Geog. Soc., Lib. Ser. no. 5, 111 pp.

Geikie, Archibald, 1897, The founders of geology: London, Macmillan; 1st ed., 297 pp.; 2nd ed. (1905), 486 pp.

H., E. W., 1962, Book review—A glossary of geographical terms: Geochem. News, no. 3, p. 8.

Himus, G. W., 1954, A dictionary of geology: Harmondsworth, Penguin Books, 153 pp.

Holmstrom, J. E., 1951, Report on interlingual scientific and technical dictionaries: Paris, UNESCO, Publ. 884, 35 pp.

Huebner, Walther, 1939, Geology and allied sciences—A thesaurus and a coordination of English and German specific and general terms: New York, Veritas Press, Part 1, German-English, 424 pp.

Humble, William, 1840, Dictionary of geology and mineralogy: London, Henry Washbourne; 1st ed., 279 pp.; 2nd ed. (1843), 294 pp.

Krumbein, W. C., 1962, The computer in geology: Science, vol. 136, pp. 1087–1092.

Margerie, Emmanuel de, and Heim, Albert, 1888, Les Dislocations de l'écorce terrestre—Die Dislocationen der Erdrinde: Zurich, J. Wurster, 154 pp.

Oldham, Thomas, 1879, Geological glossary, for the use of students: London, Edward Stanford, 62 pp.

Page, David, 1865, Handbook of geological terms, geology and physical geography: Edinburgh, Blackwood, 506 pp.

Rice, C. M., 1940, Dictionary of geological terms (exclusive of stratigraphic formations and paleontologic genera and species): Ann Arbor, Mich., J. W. Edwards, 461 pp.

Rickard, T. A., 1931, Technical writing: New York, John Wiley, 337 pp.

Roberts, George, 1839, An etymological and explanatory dictionary of the terms and language of geology; designed for the early student, and for those who have not made great progress in that science: London, Longman, Orme, Brown, Green, & Longmans, 183 pp.

Rutten, L., ed., 1929, Geologische nomenclator: The Hague, G. Naeff, 338 pp.

Salomon, Wilhelm, 1927, Die geologische Literatur und die Sprachen: Geologe, Nr. 41, pp. 1009–1013.

Schieferdecker, A. A. G., ed., 1959, Geological nomenclature: Gorinchem, J. Noorduijn, 523 pp.

Stamp, L. D., 1961, A glossary of geographical terms: London, Longmans; New York, John Wiley (1962), 539 pp.

Stokes, W. L., and Varnes, D. J., 1955, Glossary of selected geologic terms with special reference to their use in engineering: Colorado Sci. Soc., Pr., vol. 16, 165 pp.

Strunk, William, Jr., and White, E. B., 1959, The elements of style: New York, Macmillan, 71 pp.

Tourtelot, H. A., 1960, Origin and use of the word "shale": Am. J. Sci., vol. 258-A, pp. 335–343.

UNESCO, 1961, Bibliography of interlingual scientific and technical glossaries: Paris, UNESCO, 4th ed. 236 pp.

U.S. National Science Foundation, 1961, Foreign-language proficiency of scientists reporting to the National Register of Scientific and Technical Personnel, 1960: Washington, D. C., Natl. Sci. Found., Sci. Manpower B., no. 16, 4 pp.

WASHBURNE, C. W., 1943, Some wrong words: J. Geol., vol. 51, pp. 495–497.
WATZNAUER, ADOLF, 1956, Kritische Bemerkungen zur wissenschaftlichen Begriffsbildung: Zs. angew. Geol., Bd. 2, pp. 64–65.
WEBER, HANS, 1957, Die Sprache in der deutschen geologischen Fachliteratur der neueren Zeit: Neues Jb. Geol. u. Paläont., Mh., no. 6, pp. 274–278.
Wehrgeologenstab Wannsee, Aussenstelle Heidelberg, 1943, Wehrgeologisches Wörterbuch—Deutsch-Französisch-Englisch: (German Army), Oberkomm. d. Heeres, AHA/In Fest (Geol.), 449 pp.
WRIGHT, C. W., 1959, Order and disorder in nature: Geol. Assoc. (London), Pr., vol. 69, pp. 77–82.
WÜSTER, EUGEN, 1955, 1959, Bibliography of monolingual scientific and technical glossaries: Paris, UNESCO, 2 vols.

JAMES GILLULY
U.S. Geological Survey

La Filosofía Científica de G. K. Gilbert

La filosofía de G. K. Gilbert merece un lugar en este simposio debido a su profunda influencia en el pensamiento geológico de cualquier parte. Otros geólogos estadounidenses, principalmente Hall, Dana, Rogers, Darton, Daly y quizá unos cuantos más, han contribuido estrechamente o en forma muy importante a la corporación de nuestra ciencia. Pero Gilbert dio a la geología una gran dimensión y un mayor vigor por medio de sus discursos meditados sobre el método científico, la creación y comprobación de las hipótesis y el uso disciplinado de la imaginación. Sin embargo, el ejemplo establecido por sus memorias influyó mucho más que todos sus ensayos sobre el método. La observación imaginativa y escrupulosa y las reflexiones juiciosas de las alternativas que ejemplifican estas memorias, se han convertido en el ideal que permite a sus sucesores evaluar la investigación geológica hasta nuestros días. Debido a que estas cualidades son las normas de la geología estadounidense, muchos geólogos que no han leído una sola línea de los escritos de Gilbert están moldeando su trabajo sobre ellos hasta donde se los permite su capacidad.

La estatura de Gilbert y la amplitud de su visión fueron reconocidas en su propia época. Fue presidente de siete sociedades científicas, recibió cuatro premios y medallas por sus conocimientos científicos y fue miembro correspondiente u honorario de muchas sociedades extranjeras. Es el único que ha sido por dos veces presidente de la Geological Society of America —primero en 1892 y diecisiete años después, en 1909. Nadie puede negarle el mérito de este honor único; fue uno de los primeros geólogos distinguidos de los Estados Unidos.

El gran poder de Gilbert se dejó sentir bajo cualquier circunstancia. Entonces no lo desacreditamos si señalamos que su influencia fue llevada hasta el máximo por el clima científico de su tiempo. Hizo acto de presencia en el escenario en el punto crucial de la his-

BIBLIOTECA ... MERIDIAL
JUIZ DE FORA — MG.

toria científica del país, justamente cuando la ciencia surgía del largo eclipse que comenzó con la muerte de Franklin, en el momento preciso para que ejerciera su gran influencia sobre el curso del nuevo día.

Durante los dos primeros tercios del siglo XIX la ciencia estadounidense se retrasó en relación a nuestra tecnología e invención. Entre la época de Franklin y la de Willard Gibbs, el país no produjo científicos de primera fila a menos que le demos este rango a Matthew Fontaine Maury. Del mismo modo que Tyndall lo deploró en 1872, muchos de nuestros mejores eruditos se fueron alejando por la falta de apoyo al trabajo científico para caer dentro de lo administrativo, como Joseph Henry y William Rogers, o bien dentro de la enseñanza de otras materias. Gibbs, por un tiempo, enseñó latín en vez de matemáticas o física, aun cuando Yale no le pagaba ningún salario. Los Drapers, padre e hijo, fueron quizá los mejores de nuestros astrónomos; no obstante, el padre vivía escribiendo historia y el hijo enseñando fisiología, con el fin de reunir dinero para construir sus telescopios (Cohen, 1959).[1]

Después de la Guerra Civil, esta situación comenzó a cambiar lentamente hacia mejores condiciones. El gran paso hacia adelante dado por la geología comenzó con la repentina prosperidad de la minería en el oeste y el impulso eficaz que recibieron los reconocimientos exploratorios, así como la expansión de los ferrocarriles a través de una frontera poblada a grandes trechos. Con excepciones que se omiten, ésta fue la primera época en nuestra historia en la que los geólogos fueron capaces de dedicar todo su tiempo y energías a la investigación geológica. Sin duda ésta fue la primera época de nuestra historia en la que fue reunido un grupo considerable de estos hombres. Tomando prestado un término de nuestros amigos los físicos, es claro, según pienso, que existe algo semejante a una "masa crítica" de científicos, quienes, por estimulación mutua son capaces de hacer más en grupo que lo que hubieran sido capaces de hacer si cada uno hubiera trabajado solo. Quizá esta generalización no se aplicaría a los grandes genios, aunque creo que puede aplicarse fácilmente a la mayor parte de los científicos que posean una competencia más normal. Cada maestro de estudiantes gradaduados reconoce la aplicación de esta regla a un seminario de graduados. El florecimiento de la geología en los Estados Unidos en los últimos años del siglo XIX se logró no solamente debido a la geología descriptiva de la

[1] Hace cien años muchos científicos capaces fueron apartados de la enseñanza y la investigación y dedicados a la administración debido a la carencia de fondos para la ciencia; en la actualidad, la abundancia de fondos para proyectos está alejando de la enseñanza y de la investigación a un número mayor de científicos que el registrado en los apacibles días del siglo pasado.

mitad del continente, que era necesario hacer, y en lo cual los hombres podrían emplear todo el tiempo que deseasen para efectuarla, ni a causa de que el grupo conjuntado fue de grandes genios aun cuando creo que el promedio de su capacidad debe haber sido muy alto. Si se verificó fue a causa del gran desafío de la exploración científica que atrajo a un grupo poco común de hombres capaces, quienes podrían dedicar todo su tiempo a la investigación en una atmósfera de estimulación mutua.

No es de extrañarse que esta generación produjera tantos hombres distinguidos en la geología como Gilbert, Powell, Dutton, Emmons, Walcott, Hayden, Cross, Becker, Hague, Ward, Iddings y McGee. Esta lista podría ser considerablemente alargada añadiendo a los maestros recientemente graduados en las universidades, quienes también fueron parte del mismo programa: Chamberlin de Chicago, I. C. Russell de Michigan, G. H. Williams, de Johns Hopkins y H. S. Williams de Cornell. Por lo general se conviene en que muchos de estos hombres fueron excepcionalmente capaces aunque de acuerdo con mi opinión su impacto en la ciencia fue mucho más grande que el que habrían justificado sus mismas capacidades. La combinación del gran desafío, el estímulo mutuo y el apoyo financiero les permitió estudiar muchas facetas de la geología, no sólo en la superficie sino también en la profundidad, que hicieron posible el florecimiento de la geología en nuestro país.

De estos hombres, Powell fue el de más amplia visión, quizá el político más previsor de su generación, pero incuestionablemente Gilbert fue el hombre de la influencia preeminente en la geología. Su influencia no fue revolucionaria como la de Gibbs en la fisicoquímica, sino que estuvo más emparentada a la de Richards, nuestro primer ganador del premio Nóbel, al fijar una alta norma de la amplitud y el conocimiento crítico profundo dentro del problema por él estudiado —una norma tan alta como para formar un criterio permanente por el cual sus sucesores prueban la excelencia científica.

La filosofía de Gilbert fue, por supuesto, una síntesis de ideas y métodos construida por la fraternidad científica durante siglos. La tarea de la ciencia consistió, tanto para él como para otros desde Bacon, en la observación de los fenómenos naturales y el descubrimiento de relaciones ordenadas entre ellos.

En varios de sus discursos sobre metodología, negó específicamente cualquier innovación de aproximación y, en realidad, su filosofía no contenía nada nuevo. Que uno debe tener varias hipótesis en la mente con el fin de agudizar la observación, que el juicio depende de la comprobación de varias hipótesis, que el científico debe ser reservado en cuanto a sus propias conclusiones a causa de que todo

individuo tiende a ser parcial para la propia realización de una inspiración —todas estas ideas, puestas de relieve por Gilbert y bellamente ilustradas en sus trabajos, han sido familiares desde los días de John Locke y han sido establecidas con elocuencia por David Hume cien años antes de que Gilbert las escribiera.

A causa de su posición fundamental, estas ideas son tan esenciales a la investigación que Gilbert les concede mucha importancia. Se encontraba totalmente enterado del peligro latente de la semántica y del de equivocar palabras por ideas, un peligro ante el cual la vasta pila de desechos de términos geológicos obsoletos aún fracasa para desalentar a nuestros muy numerosos neólogos. En los años 1880 consagró su atención al problema de hallar la afinidad entre el idioma y el significado. En aquellos días, algunos pocos consideraron las restricciones colocadas en nuestra mente debidas al idioma, aunque Mach en física y Pearson en estadística estaban trabajando bajo líneas similares. Estas restricciones son el interés principal de la filosofía de nuestros días.

La relación que Hume llamó "causa y efecto", Gilbert, en forma más reservada, la nombró "antecedente y consecuente" y continuamente hizo resaltar un hecho: todo antecedente no tiene uno, sino muchos consecuentes. Del mismo modo propone (Gilbert, 1886, Pág. 286), "Las relaciones del antecedente y consecuente no son, por lo tanto, simplemente lineales, sino que constituyen un entrelazamiento y este entrelazamiento penetra toda la naturaleza".

Su trabajo proporciona innumerables ejemplos de su verificación de que las mismas complejidades de los antecedentes y consecuentes de un fenómeno en particular ofrecen formas eficaces de evaluar las hipótesis relacionadas con él. Cuanto más consecuencias puedan admitirse como implicadas en algunas hipótesis, tanto más abundantes las oportunidades de comprobarlas contra los hechos; cuanto más diversas las consecuencias tanto más sensitiva la prueba. Se cita el siguiente párrafo:

> [Un investigador] no está restringido al empleo de una hipótesis a la vez. En realidad hay una ventaja al tratar varias a un tiempo, pues de esta manera es posible descubrir sus antagonismos e inconsistencias mutuas y así pueden idearse las pruebas cruciales —pruebas que necesariamente excluirán a algunas de las hipótesis de una consideración ulterior. Entonces, el proceso de comprobación es un proceso de eliminación por lo menos hasta que todas las hipótesis, excepto una, hayan sido desaprobadas.
>
> En la comprobación de la hipótesis descansa la principal diferencia entre el investigador y el teórico. Uno busca diligentemente los hechos que puedan derribar la teoría que ensaya y el otro cierra los ojos a estos hechos e investiga únicamente aquellos que la apoyarán. (Gilbert, 1886, Pág. 286.)

Este método de confrontar simultáneamente varias hipótesis con los fenómenos pertinentes, tanto los antecedentes como los deducidos, se remonta unos dos siglos y quizá aún más atrás, hasta la época de Bacon. Pero esto fue motivo de mayor preocupación por parte de Gilbert y Chamberlin, cuyo trabajo, frecuentemente citado, sobre el método de las hipótesis de trabajo múltiple fue publicado diez años más tarde.

El método de Gilbert expresa concretamente cuatro elementos esenciales: (1) observar el fenómeno que se va a estudiar y ordenar sistemáticamente los datos de observación, (2) inventar hipótesis en relación a los antecedentes del fenómeno, (3) de las hipótesis deducir consecuencias que son de esperarse y (4) comprobación de estas consecuencias contra las nuevas observaciones.

De las cualidades mentales implicadas, Gilbert colocó entre las más altas la de la capacidad para crear hipótesis. La observación sutil y pertinente en la reunión misma de los datos demanda varias hipótesis a fin de que la mente pueda ser enfocada sobre los rasgos significativos. En verdad, la hipótesis está virtualmente implícita al juzgar cuáles rasgos del fenómeno son realmente significativos. Un observador no puede percibirlo todo. Si no se le presentan las suficientes posibilidades cuando está haciendo sus observaciones puede fracasar completamente en el reconocimiento de las relaciones de un significado extremo. La parcialidad surge de la observación inadecuada y, desde luego, viciará todos los procesos lógicos a los que más tarde estarán sujetos los datos.

Gilbert, de esta manera, concede una gran importancia al valor de la imaginación creativa. Dice:

> El gran investigador es principal y preeminentemente el hombre rico en hipótesis. En la plenitud de su prosperidad, sin pena puede prescindir de las débiles y teniendo muchas de donde seleccionar su mente mantiene una actitud juiciosa. El hombre que puede producir solamente una hipótesis, puede fomentar y defender aquella que considera como propia y permanecer ignorante de sus defectos (1886, Pág. 287).

Gilbert probó examinar la naturaleza de la conjetura científica considerada como un proceso mental. Preguntó en cierta ocasión (1886, Pág. 286) si es posible instruirse para mejorar la facultad de conjeturar y si es así, cómo. El análisis de su propio pensamiento lo condujo a la conjetura de que muchas de las hipótesis si no es que todas, surgen de las analogías reales o fantásticas. Un fenómeno recientemente reconocido recuerda a una persona, consciente o inconscientemente, otro más familiar cuyos antecedentes y consecuentes se consideran como sabidos. La mente rápidamente construye hipótesis en las cuales los antecedentes y consecuentes del nuevo fenó-

meno son relacionados en forma similar con aquellos del análogo. Este análisis importante de los procesos mentales ha sido sugerido desde hace tiempo, por supuesto, por Locke y Hume y le ha sido atribuido aún mayor énfasis por John Stuart Mill.

Gilbert no continuó en este trabajo para extender explícitamente el aspecto de cómo puede uno desarrollar la capacidad para reconocer muchas analogías entre los fenómenos naturales y de este modo tener fertilidad para las hipótesis. Pero uno puede leer entre líneas muchos de sus trabajos y aprender que aquella experiencia diversificada, tanto la directa como la vicaria, fue un catalizador importante en su propio caso. De esta manera se puede valorar la lectura en la forma más amplia posible, como una ayuda para la creación de las hipótesis en las ciencias de la historia natural. La lectura ofrece experiencia, aun cuando sea indirecta, de una variación más amplia de los fenómenos naturales con la que pueden conjurarse analogías que siempre podrían ser adquiridas en forma autónoma por una sola persona. Es imposible reducir muchas de las relaciones naturales a la taquigrafía de las ecuaciones matemáticas. Quizá esto explica el hecho de que casi todos los estudios de productividad científica demuestran que los geólogos, los botánicos y los zoólogos, por lo general obtienen tardíamente el reconocimiento a su labor que los químicos, éstos más que los físicos y los físicos más que los matemáticos. Cuanto más complejos sean los fenómenos tratados, más largo será el aprendizaje que debe ser satisfecho antes de la maestría. En efecto, el desarrollo de Gilbert como investigador continuó hasta su enfermedad final.

Gilbert no fue un teórico de sillón, sino un geólogo práctico que trabajaba intensamente. Admitió que en nuestra ciencia siempre debemos quedar satisfechos con el "como si". Aunque por implicación probablemente siempre mantuvo la misma actitud hacia las ciencias más exactas, esta perspectiva la expresó únicamente con referencia a las ciencias de la historia natural. La imposibilidad de manejar experimentos a escala geológica exige que debemos sentirnos siempre satisfechos con las hipótesis cuya validez se apoye en el hecho de que aún no se ha comprobado que sean erróneas. Exceptuando directamente los procesos observables, y aun ahí dentro de límites embarazosamente estrechos, nunca podemos afirmar que un fenómeno dado pudiera surgir solamente de una manera, sino simplemente que podría haber surgido así.

Si no es influida por motivos personales, la mente prefiere naturalmente la más simple de entre las innumerables alternativas posibles. Sin embargo, esto no significa que la teoría más simple sea necesariamente la correcta. La navaja de Occam es un instrumento

mental, no una piedra de toque. La más simple es la hipótesis preferida momentáneamente y es la que se sostiene en forma ligera durante el intervalo de las pruebas exhaustivas. En cuanto más numerosas sean las pruebas a las que sobrevive una hipótesis y cuanto más abundantes sean las deducciones no contradictorias que se deriven de ella, mayor será su verosimilitud. Después del análisis pocas son las hipótesis geológicas que resultan simples. Sin embargo, en la naturaleza de la evidencia geológica, un concepto geológico, aun cuando sobreviva lo suficiente para alcanzar el rango de teoría, nunca puede ser *probado*. Por otro lado, la simple negación definida es suficiente para descalificarlo. ¡Cuán peligroso resulta el camino del innovador geológico!

Entonces, si los elementos esenciales en la filosofía de Gilbert no eran nuevos, ¿cuáles fueron sus contribuciones personales que tan fuerte impresión dejaron en la geología de los Estados Unidos? En sí, sus ensayos filosóficos contribuyeron menos que la filosofía que reveló a través de su soberbia literatura geológica. Su influencia derivó de su fértil imaginación, de la lógica y la claridad con las que presentó sus conclusiones y la cadena del razonamiento que lo condujo a ellas y, de ninguna manera, de la actitud judicial y esencialmente antidogmática que conservó aun hacia sus propias conclusiones fortalecidas más sólidamente.

Detallar el razonamiento que se encuentra detrás de una conclusión le parecía tan importante como la conclusión misma. De hecho, uno de sus trabajos de mayor influencia no presentó, en lo absoluto, ninguna conclusión —simplemente examinó las líneas a lo largo de las cuales fue atacado el problema (Gilbert, 1896) del origen del Coon Butte (ahora Cráter Meteórico, Arizona). Estableció repetidamente que la consideración de los métodos es más valiosa que la conclusión real alcanzada. Una hipótesis que rechaza un investigador por inadecuada puede sugerir una aplicación útil para otro ya sea para el mismo problema o para uno diferente.

Es de esta manera cómo a través de sus múltiples trabajos bellamente razonados Gilbert causó un impacto tremendo en la ciencia. Presentaba los hechos que no favorecían una tesis tentativa en forma tan prominente como igualmente presentaba aquellos que la favorecían. Seguía las implicaciones lógicas de un fenómeno a dondequiera que pudieran conducir, manteniéndose él mismo rígidamente imparcial.

De los innumerables ejemplos contenidos en su trabajo ninguno ilustra más su firmeza al delinear las consecuencias de una hipótesis que el último trabajo publicado durante su vida (1917). Comienza con un análisis del efecto de la explotación minera hidráulica de los

BIBLIOTECA MUNICIPAL MUÑOZ

detritos de la Sierra Nevada sobre el régimen de las corrientes en el Valle de Sacramento y encontró que todos los sedimentos eran retenidos a unos 80 km al noreste de la Golden Gate. Algunos geólogos fueron destinados a analizar dicho problema y proseguirían con él más allá del punto que ya había sido determinado como destino de todos los detritos. Con Gilbert no sucedió lo mismo. Se implicaron otras consecuencias que se vio obligado a seguir hasta obtener éxito.

Los varios kilómetros cúbicos de grava acarreados hasta la parte superior de la bahía fueron depositados abajo del nivel de la marea alta y, en consecuencia, llenaron un espacio de varios kilómetros cúbicos que antes era llenado por el agua de dicha marea. El prisma de la marea, o sea el volumen de agua que fluye hacia afuera durante la marea menguante, disminuyó en una fracción muy importante. El régimen de la barra litoral en la Golden Gate fue, por lo tanto, afectado por el relleno de las gravas de la Sierra ¡aun cuando éstas se encuentran a 80 km del estrecho de la Golden Gate! La barra ha migrado hacia la costa unos 1 600 m en cincuenta años a causa de la debilidad que han sufrido las corrientes de marea. ¡Realmente la naturaleza está penetrada por un entrelazamiento de antecedentes y consecuentes!

A través de todo su trabajo, del mismo modo que lo dice su biógrafo William Morris Davis (1926, Pág. 1), "Tenía como hábito, al presentar una conclusión, exponerla como una bola colocada sobre una mano extendida, no apretándola, como para impedir su caída, no empujándola como si fuera a arrojarla a un impugnador, aunque sí equilibrada en la palma abierta, libre para rodar en el caso de que cualquier soplo de evidencia perturbadora la desplazara; sin embargo, debería descansar ahí en una estabilidad satisfecha. No él, sino los hechos que ordenó, clamaron para que se aceptara la explicación que encontró para ellos". Aquí, en su ejemplo, más que en la novedad de su filosofía, está la razón del tremendo impacto de G. K. Gilbert sobre la geología de los Estados Unidos y del mundo.[2]

REFERENCIAS

Cohen, I. B., 1959, Some reflections on the state of science in America during the Nineteenth Century: Natl. Acad. Sci., Pr., vol. 45, pp. 666–676.

Davis, W. M., 1926, Biographical memoir—Grove Karl Gilbert, 1843–1918: Natl. Acad. Sci. Biog. Mem., 5th Mem., vol. 21, 303 pp.

[2] Al preparar esta discusión he conversado con muchos de mis amigos sobre el trabajo de Gilbert; de esta manera adquirí muchas de las ideas aquí incluidas. Me han brindado una ayuda especial Paul Averitt, W. H. Bradley, T. A. Hendricks, C. B. Hunt, W. T. Pecora y G. D. Robinson.

Gilbert, G. K., 1886, The inculcation of scientific method by example, with an illustration drawn from the Quaternary geology of Utah: Am. J. Sci., 3d ser., vol. 31 (whole no. 131), pp. 284–299.

———, 1896, The origin of hypotheses, illustrated by the discussion of a topographic problem: Science, n.s., vol. 3, pp. 1–13.

———, 1917, Hydraulic-mining débris in the Sierra Nevada: U.S. Geol. Survey, Prof. Paper 105, 154 pp.

———

J. M. HARRISON

Geological Survey of Canada

Naturaleza y Significado de los Mapas Geológicos

Un mapa geológico puede definirse como aquel en el que se muestra la distribución y las relaciones estructurales de las rocas. Como tal, es el producto de la investigación emprendida en el laboratorio principal del geólogo: la Tierra misma; y como la describe y como la interpreta, el mapa debe ser en el último análisis, la fuente de información de la teoría geológica.

Muchos trabajos y libros de texto han sido escritos basándose en la técnica de presentar los datos geológicos sobre mapas y la vida profesional de muchos geólogos está dedicada a la preparación e interpretación de tales mapas. Sin embargo, una opinión sostenida ampliamente se refiere a que la cartografía geológica es un procedimiento rutinario análogo a un levantamiento instrumental. Dicho concepto es engañoso en extremo. Mapas topográficos distintos, por ejemplo, el mapa geológico, registran datos que pueden reunirse principalmente por métodos mecánicos, instrumentales o rutinarios y, aunque en parte son objetivos y un registro de los hechos actuales, también son subjetivos en un alto grado debido a que, del mismo modo, presentan la *interpretación* del geólogo de estos hechos y de sus observaciones. Un buen mapa geológico es el resultado de una investigación de un orden elevado.

El primer mapa geológico se atribuye diversamente a Packe en 1743, a Guettard en 1746, a William Smith en 1801 y a algunos otros dependiendo del concepto del autor de lo que constituye un mapa geológico. La primera persona que estudió geología haciendo un mapa parece ser Guettard quien, al presentar un trabajo a la Académie Royale Française en 1746, utilizó un mapa geológico para demostrar que Francia e Inglaterra fueron parte de la misma región geológica

(véase Mather y Mason, 1939, Págs. 77-78). De acuerdo con Sir Archibald Geikie (1901, Pág. 22): "Estos mapas, hasta donde los conozco, fueron los primeros construidos para expresar la distribución superficial de minerales y de rocas. Al francés dotado del talento natural para hacerlos debe llamársele el padre de todos los "Departamentos Geológicos nacionales. . .". Geikie también notó que, aun siendo tan brillantes como fueron las deducciones de Desmarest en 1771 concernientes al origen volcánico del Auvergne, su mapa geológico de la región debe considerarse que es su contribución más memorable al progreso de la geología (Pág. 75). Sin embargo, muchos geólogos están de acuerdo en que el mapa de Inglaterra y Gales de William Smith, publicado en 1815, marcó el verdadero comienzo de la cartografía geológica. Tomkeieff (1948, Pág. 256) estableció que antes de la publicación de la "Theory of the Earth" de Hutton en 1778 o cuando apareció el mapa geológico de William Smith, no existía la geología como un ciencia organizada. Desde aquella época se han preparado incontables mapas geológicos y muchas áreas han sido levantadas varias veces, pero aún permanecen grandes áreas terrestres sin cartografía, desconociéndose virtualmente la geología de los pisos marinos.

Cualquier mapa de la superficie terrestre puede comunicar alguna información sobre la geología del área. Las fotografías aéreas y los mapas topográficos derivados de ellas pueden mostrar características superficiales debido a fallas, pliegues, variaciones en la litología y otros rasgos, de tal manera que puede obtenerse una muy buena primera aproximación de la geología del área por un observador familiarizado con la interpretación de dichos rasgos. Los mapas que resultan de los levantamientos con el magnetómetro aéreo pueden ser útiles como sustitutos interinos de los mapas geológicos en áreas donde no pueden hacerse observaciones geológicas y, por supuesto, son utilizados ampliamente para suplementar los datos geológicos. En forma semejante, los mapas edafológicos y geoquímicos son guías útiles para la geología. Todos estos mapas revelan mucho de la geología de una área, debido a que en muchas regiones se encuentran el lecho rocoso que controla las características geoquímicas y geofísicas.

Para interpretar la geología de dichos mapas el geólogo no necesita ver una sola roca o un afloramiento. Su interpretación la hace aplicando su conocimiento y su experiencia geológicos al estudio de los datos químicos y físicos, formas topográficas, variaciones en el color, etc.; de estas observaciones deduce las causas físicas de los fenómenos observados. Aunque estos mapas son importantes para un geólogo, no son mapas geológicos en el verdadero sentido a causa

de que no representan la geología del área —en este caso la información geológica es solamente incidental.

Para mucha gente, el mapa geológico, con su esquema de colores contrastantes, símbolos estructurales evidentemente inequívocos y contactos precisos entre las formaciones, crea la impresión que es, al igual que muchos otros tipos de mapas, un registro verdadero y objetivo de los datos derivados de las observaciones hechas sobre diferentes clases de rocas claramente distinguibles unas de otras por características físicas bien definidas. Esta impresión resulta engañosa en la mayor parte de los mapas. Un buen mapa geológico es mucho más que una presentación objetiva de la distribución de las formaciones, su estructura y sus relaciones; del mismo modo es una presentación subjetiva de interpretaciones basadas en una multitud de observaciones y, en un mayor o menor grado, basadas sobre teorías y prejuicios sostenidos durante el tiempo en que el mapa fue hecho. Esto es una verdad para los mapas hechos primero por Guettard, Lehmann, Packe, Smith y otros pioneros y también lo es para los mapas hechos actualmente. Hemos acumulado demasiados conocimientos desde los días de los pioneros por lo que esperamos producir mapas muy cercanos a la verdad. Pero los mapas geológicos no son estáticos ni eternos a medida que la ciencia evoluciona, ocurrirá lo mismo con los mapas que representan nuestros conceptos evolutivos.

Considérese la preparación de un mapa geológico moderno. Podemos suponer que el geólogo cuenta con un mapa topográfico preciso y fotografías aéreas y que reunirá todos los datos geofísicos y geoquímicos aprovechables, además de otros útiles que pertenecen al área. Con ellos hace su primer estudio interpretativo y obtiene un burdo bosquejo de la geología que le permite planear travesías críticas y seleccionar secciones para el estudio detallado. Solamente de esta manera comenzará a examinar las rocas y los depósitos mismos, incluyendo la clasificación de las rocas diferentes de acuerdo con sus características físicas *y la interpretación de su origen*. En otras palabras, debe decidir sobre su clasificación antes de que pueda demostrarlo sobre el mapa. Debe decidir, por ejemplo, dónde la roca es magmática o migmatética, dónde es volcánica o intrusiva, dónde dos rocas representan formaciones diferentes o facies diferentes de la misma formación, dónde las rocas fueron formadas de un sedimento volcánico, marino o continental; dónde es metamórfica o metasomática, etc. El hecho de que la clasificación debe ser hecha en el campo es, probablemente, único en las disciplinas científicas. Sería, en realidad, un geólogo temerario aquel que, en una área de una

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M.G.

complejidad aun moderada, hiciese un mapa geológico basado en una colección de especímenes de mano.

No solamente le interesa la clasificación de las rocas, sino también la de los datos estructurales —significación relativa de discordancias, relación del crucero a los pliegues y fallas, movimiento relativo de las fallas, edad de la deformación estructural, edad de las intrusiones ígneas y todas las complejidades de las relaciones entre las rocas. Estos datos unidos a los que pueden aprovecharse de la geofísica y de la geoquímica, registros de pozos y otras fuentes de información serán utilizados para prolongar las unidades litológicas y estructurales abajo de la sobrecarga. Aun en aquellas áreas donde las rocas están relativamente bien expuestas solamente aflora una pequeña parte del lecho rocoso y, además, estos afloramientos, por lo general, no están distribuidos uniformemente.

El geólogo siempre logra reunir una mayor información que la que puede mostrar sobre un mapa y por esta razón debe seleccionar los datos que considere de más importancia. Por ejemplo, determina las asociaciones minerales en cortes de secciones delgadas de tal manera que pueda afinar la clasificación de sus rocas o que pueda distinguir una media docena de facies metamórficas. Estas clasificaciones, a su vez, conducen a conclusiones que conciernen a la historia geológica del área. Puede hacer un análisis estadístico de cientos de observaciones de campo para determinar la forma de los pliegues, la posición de las fallas, la dirección de las paleocorrientes en mares y ríos antiguos o el significado de los conjuntos de fósiles. Estas investigaciones constituyen la investigación de laboratorio del autor quien incluye la interpretación de los resultados sobre su mapa, junto con sus interpretaciones de los análisis geoquímicos, las mediciones geofísicas y la abundancia de isótopos.

Finalmente, el geólogo debe seleccionar los símbolos y el esquema de presentación para toda esta información de manera que el mapa representará lo mejor de su selección de datos e interpretaciones. Ellos deben permitir al usuario mirar *dentro* del mapa, de tal manera que pueda visualizar la distribución y las relaciones de las rocas abajo de la superficie de la Tierra (MacKim, 1950, Pág. 55).

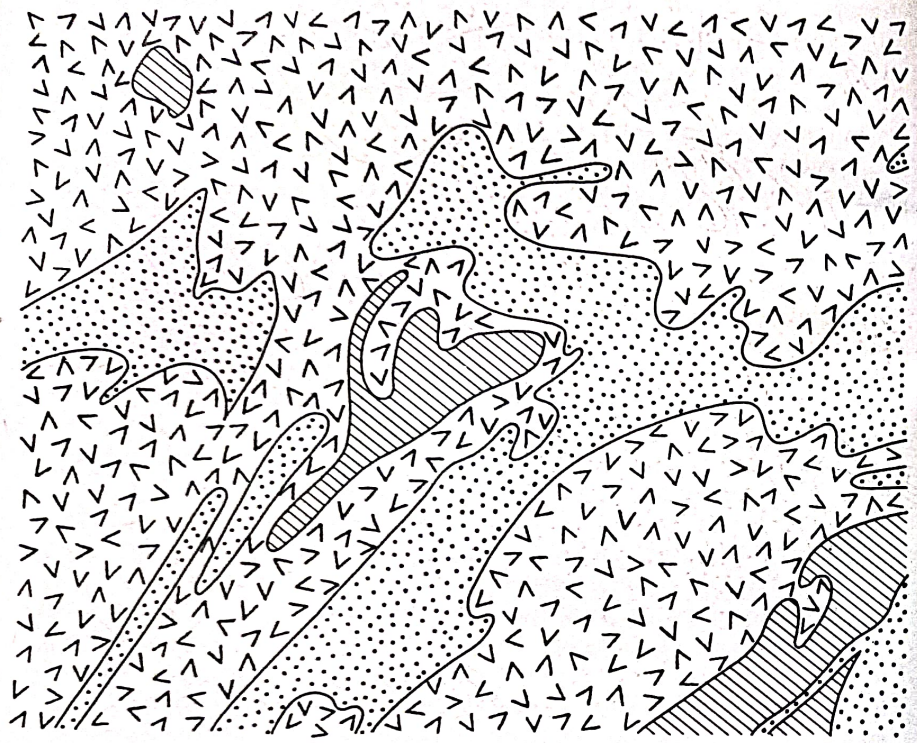
Cuando se ha sintetizado todo este material, el producto final es una mapa geológico litografiado que puede considerarse tan positivo e incontrovertible como una fotografía a color, al menos para el lego y quizá también para algunos geólogos. Realmente representa la suma de los análisis hechos por un individuo utilizando una información que nunca puede ser completa. Los resultados son condicionados por la "sabiduría convencional" del día y hasta ese grado el mapa representa "el conocimiento geológico en el momento de su

producción" (North, 1928, Pág. 1). Además, en muchos casos puede hacerse más de una interpretación de la información presentada en el mapa; otro geólogo puede hacer interpretaciones muy diferentes de las del autor y aun ver más que lo que el autor pudo apreciar.

En muchas regiones los geólogos de la misma generación producirían mapas muy similares pero si el origen de ciertas formaciones se prestara a controversia y los geólogos fueron productos de diferentes escuelas de pensamiento geológico, sus mapas serían diferentes. Por ejemplo, el área de "granito" mostrada en el mapa de un terreno metamórfico podría depender hasta un grado considerable de si el autor perteneció a una escuela que cree que los granitos son principalmente de origen magmático, o a una escuela que piensa que son el producto del ultrametamorfismo o de la granitización. Este puede ser un ejemplo extremo, aunque muchos de los mapas geológicos, en mayor o menor grado, reflejan los antecedentes y prejuicios del autor. Los mapas buenos descubren las debilidades en la teoría o en la interpretación de la geología experimental o en la clasificación. En otras palabras, conducen a su propia modificación y a su consiguiente desuso. Es indudable que las generaciones de geólogos ulteriores producirán mapas geológicos diferentes de los actuales.

El geólogo de campo, además de proporcionar la información básica, se encuentra en una buena posición para apreciar las teorías desarrolladas de la investigación de laboratorio pero, por desgracia, muchos de estos investigadores tienen que aceptar los resultados de los experimentos de laboratorio con una fe irrazonable y modificar su cartografía para ponerla de acuerdo con el experimento y la teoría. El hombre de campo no debe olvidar que el investigador de laboratorio, en su intento por reproducir con la mayor fidelidad posible los procesos geológicos, debe extrapolar en gran escala haciendo, de esta manera, suposiciones inciertas.

Se recuerda un ejemplo en el que se implica a uno de los grandes hombres de la ciencia geológica, N. L. Bowen. Allá por 1915 comenzó a publicar las contribuciones petrológicas más sobresalientes de su generación, lo cual culminó en su "The Evolution of the Igneous Rocks" que se publicó en 1928. Sus teorías estuvieron basadas casi exclusivamente en brillantes investigaciones de laboratorio y dominaron el pensamiento de casi todos los geólogos de los Estados Unidos por una generación o más. Muy pocos geólogos comprobaron estos conceptos en el campo y muchos de ellos hicieron la cartografía de acuerdo con tales conceptos ignorando toda evidencia contradictoria. No fue sino hasta 1947 que los geólogos de campo tuvieron la suficiente vehemencia para hacer un simposio sobre granitos, el principal acontecimiento en el Annual Meeting de la Geological Society of



Mapa geológico cartografiado en 1928

Intrusiones batolíticas; rocas graníticas, con numerosas inclusiones de la serie Grenville, localmente

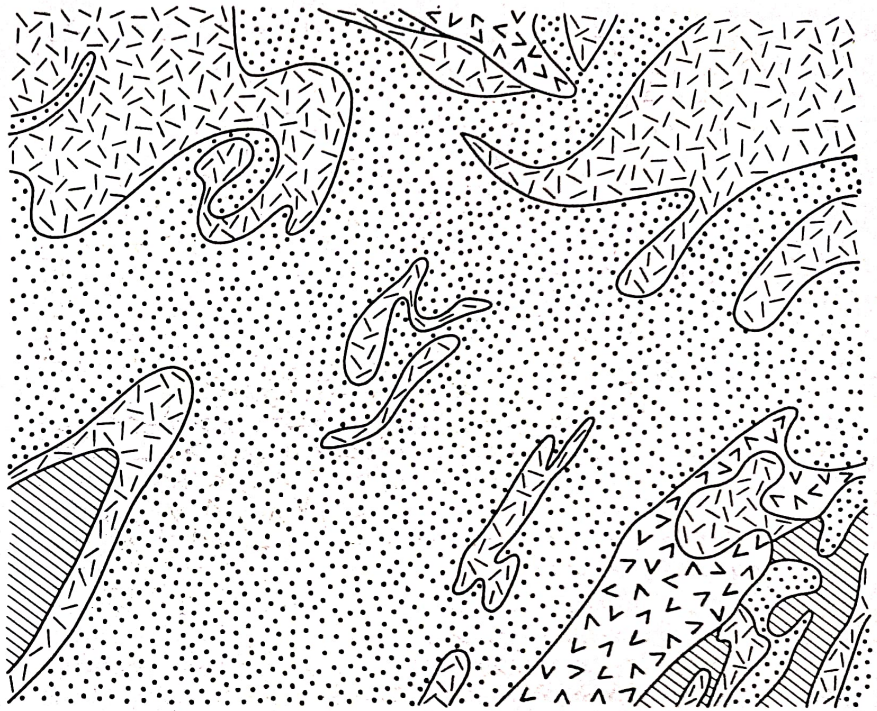
Intrusiones básicas

Caliza cristalina, cuarcita, gneis de granate; abundantes intrusiones de granito, localmente of granite

Escala en kilómetros

0 1.6 3.2 4.8 6.4

FIG. 1. Dos mapas geológicos de la misma área en el escudo canadiense



Mapa geológico cartografiado en 1958

Rocas graníticas

Rocas granitizadas, migmatitas, etc; incluidas algunos granitos

Rocas básicas, principalmente intrusiones

Caliza cristalina, cuarcita paragneis; incluidas algunas rocas graníticas y granitizadas

Escala en kilómetros

0 1.6 3.2 4.8 6.4

FIG. 1. (*Continúa*)

America en Ottawa (Geol. Soc. Am., Mem., 1948). Como un éxito parcial de aquel mitin, la teoría de la granitización una vez más ganó el reconocimiento entre los geólogos de los Estados Unidos, pero sólo debido a que la evidencia de campo demandó su aceptación en oposición a la teoría prevaleciente.

Con relación a un ejemplo de cómo la teoría puede controlar la cartografía véase la Fig. 1. Los dos mapas, muy simplificados de sus originales, son de la misma área en el Escudo Canadiense. El más antiguo fue preparado cuando el "magma" estaba en el ápice en América del Norte y el más reciente fue hecho por un geólogo quien ya había aceptado la prueba de campo de la granitización. Parte de la discrepancia se debe a la verificación más moderna de que algunas rocas ricas en hornblenda y piroxena se han derivado de sedimentos calcáreos. La diferencia básica, sin embargo, es debida al hecho de que el autor más reciente muestra en el mapa sus conclusiones acerca del origen de los varios tipos de rocas. Los mapas que más estrechamente se asemejan a la última edición de los dos citados se han publicado en relación con otras áreas por muchos geólogos durante un tiempo prolongado. Fue el peso de las pruebas lo que obligó a aceptar, en oposición a la teoría del laboratorio, el principio de la granitización en gran escala.

Asimismo, el principio ya existía muchos años antes de que los geólogos de campo y los especialistas de laboratorio resolvieran sus diferencias sobre las temperaturas de las rocas fundidas. Las investigaciones de laboratorio sobre las fusiones de silicatos evidentemente demandaron temperaturas extremadamente altas, pero los geólogos de campo insistieron en que las pruebas de tales temperaturas no podrían confirmarse donde el material magmático había invadido rocas sólidas. Finalmente se encontró que la adición de pequeñas cantidades de "mineralizadores", principalmente agua, reducían las temperaturas de las fusiones al punto donde estuviesen de acuerdo con la evidencia de la Tierra misma.

Para completar el concepto de North —"El mapa geológico es un índice de la extensión y exactitud del conocimiento geológico en el momento de su producción y también es la base de la investigación futura. Es el vehículo por el cual los hombres pueden comunicarse entre sí sus descubrimientos relativos a la naturaleza y orden de las rocas de la corteza terrestre, hace posible la prosecución de investigaciones ulteriores que conciernen a la distribución de las rocas, su origen y la prueba de la vida del pasado que puedan contener. . . . El mapa geológico puede, por lo tanto, ser considerado como una fuerza dinámica en la geología". (North, 1928, Pág. 1).

REFERENCIAS

Bowen, N. L., 1928, The evolution of the igneous rocks: Princeton, Princeton Univ. Press, 332 pp.

Geikie, *Sir* Archibald, 1901, The founders of geology, vol. 1 of Principles of geology: Baltimore, Johns Hopkins Press, 297 pp.

Geological Society of America, 1948, Origin of granite (James Gilluly, Chm.): Geol. Soc. Am., Mem. 28, 139 pp.

Greenly, Edward, and Williams, Howell, 1930, Methods in geological surveying: London, Thos. Murby, 420 pp.

Ireland, H. A., 1943, History of the development of geologic maps: Geol. Soc. Am., B., vol. 54, pp. 1227–1280.

Linton, D. L., 1948, The ideal geological map: Adv. Sci., vol. 5, no. 18, pp. 141–148.

Mackin, J. H., 1950, The down-structure method of viewing geologic maps: J. Geol., vol. 58, pp. 55–72.

Mather, K. F., and Mason, S. L., 1939, Source book in geology: New York, McGraw-Hill, 702 pp.

North, F. J., 1928, Geological maps, their history and development with special reference to Wales: Cardiff, Nat. Museum, Wales, 133 pp.

Pouba, Zdeněk, 1959, Geologické mapováni: Nakladateství, Československé Akad. Věd, 523 pp., 12 maps. (A complete account of the technique of geological mapping.)

Robertson, Thomas, 1956, Presentation of geological information in maps: Adv. Sci., vol. 13, no. 50, pp. 31–41.

Steiner, W. von, 1957, Zur Geschichte der geologischen Karte: Zs. Angew. Geol., nos. 8/9, pp. 417–424.

Tomkeieff, S. I., 1948, James Hutton and the philosophy of geology: Edinburgh Geol. Soc., Tr., vol. 14, pt. 2, pp. 253–276.

Wells, J. W., 1959, Earliest geological maps of the United States, 1756–1832: Washington Acad. Sci., J., vol. 49, pp. 198–204.

Woodward, H. B., 1911, History of geology: London, Watts, 154 pp.

ARTHUR F. HAGNER

University of Illinois

Aspectos Filosóficos de las Ciencias Geológicas[1]

La aproximación geológica a la naturaleza hace surgir algunas cuestiones filosóficas interesantes y al mismo tiempo ejemplifica un punto de vista que debe contribuir al pensamiento y progreso de otros campos, si puede delinearse con toda claridad. Una área atractiva del conocimiento, todavía relativamente inexplorada, invita al análisis y a la evaluación.

Contribuciones intelectuales de la geología

En los siglos XVIII y XIX, los geólogos generaron conceptos que dominaron la atención universal. Una creencia venerable en una Tierra no más antigua que unos cuantos miles de años formada casi instantáneamente por una acción providencial, por largo tiempo suprimió el pensamiento filosófico y científico. Por otra parte, antes de la época de Hutton, generalmente se pensaba que este breve pasado había sido marcado por cambios extensos y violentos, distintos de los que pudieran suceder en nuestros días. Los rasgos superficiales de la Tierra fueron explicados en función del Diluvio. La erosión, los efectos de la glaciación en regiones donde ahora existe un clima cálido y la presencia de fósiles en las montañas, todo fue atribuido a la inundación de Noé. Los descubrimientos geológicos y las contro-

[1] Deseo agradecer al Dr. D. M. Henderson la lectura cuidadosa del original y las sugestiones ofrecidas que materialmente lo mejoraron. El Dr. Norman Page contribuyó con su tiempo y sugestiones durante las primeras etapas de la escritura y de la preparación. Numerosos autores de este mismo volumen han proporcionado comentarios y críticas útiles. También deseo agradecer a aquellos estudiantes graduados en geología en la Universidad de Illinois quienes tomaron parte en las discusiones informales y estimulantes sobre la filosofía de la ciencia que fueron sustentadas durante el año académico 1960-1961.

versias resultantes en la ciencia y en la religión condujeron al abandono gradual de estas creencias.

Antes de la "Theory of the Earth" de James Hutton que apareció en 1788, la filosofía natural estaba basada más en la especulación que en la observación. El uniformismo de Hutton hizo posible la explicación de los rasgos terrestres como resultado de los procesos largamente continuados, pero ordinarios, opuestos a las fuerzas extraordinarias o cataclismos. Las especulaciones lentamente cedieron su lugar a las observaciones cuidadosas y a las correlaciones y a las interpretaciones verdaderas. Sin embargo, no fue sino hasta la publicación de los "Principles of Geology" de Lyell en 1830-1833 que la revolución en esta ciencia se hizo amplia y efectiva. A la mitad del siglo XIX "se alcanzó y se estableció sobre el cimiento sólido de la observación una filosofía geológica satisfactoria en el mundo inorgánico, hasta donde lo permitieron los criterios de los tiempos. En el campo orgánico todavía no ha estallado la granada". (Gordon, 1951.)

La idea del cambio y evolución progresivos con el tiempo, del mismo modo que se aplica a la física, ha madurado con el crecimiento de la geología moderna. Los historiadores previamente han discutido la idea del progreso, pero sólo casualmente. Cuando Hutton expresó que no observaba signos de un comienzo o de un fin, comprendió que era necesario el tiempo para producir muchos fenómenos geológicos —más tiempo del que estaban dispuestos a admitir los científicos y los filósofos. La idea de *tiempo geológico* habilitó a Darwin para idear su teoría de la evolución sobre una base científica. "Hubo necesidad de dejar claramente establecido el principio del Uniformismo o de otro modo la historia de la vida del pasado podría haber tenido miles de interpretaciones basadas sobre las condiciones físicas totalmente diferentes a las del presente". (Garrels, 1951.) Fueron los *Principles* de Lyell, entonces, los que prepararon el escenario para Darwin e influyeron grandemente en sus ideas. "Una historia larga de la vida sobre la Tierra, no perturbada por catástrofes mundiales repetidas, no requirió un tiempo más largo que las creaciones sucesivas de todos los organismos vivientes... La posibilidad de la evolución progresiva de la vida sobre la Tierra no podía seguir descartándose por más tiempo". (Thomas, 1947). La idea del tiempo geológico, quizá la contribución más grande de la geología al pensamiento general, ha sido comparada en importancia con la verificación de los astrónomos relativa a la vastedad del espacio y con los conceptos de los físicos de la relación entre materia y energía. (Stokes, 1960, Pág. 5.)

De este modo la geología hizo la mayor contribución tanto a la ciencia como a la filosofía al introducir en aquélla la idea de la historia. Antes del siglo XIX la ciencia ya había mostrado un amplio interés por el presente. No fue sino hasta que los geólogos introdujeron el concepto de que la Tierra *tenía* una historia cuando fue posible desarrollar un conocimiento sistemático del pasado remoto. La geología demostró la posibilidad de estudiar el pasado por métodos científicos y que "hay, además, una validez para la historia independiente de la física y de la química... La teoría de la evolución fue una idea histórica y no una ley de la naturaleza. Su vigencia fue comprobada por otros criterios distintos a los de la mecánica". (Schneer, 1960, Págs. 377-378.)

Rasgos característicos de la metodología y el razonamiento geológicos

Al discutir la naturaleza de la geología, Chamberlin (1904) observó que "gran parte consiste en generalizaciones conforme a datos incompletos, de inferencias que se apoyan en cadenas de lógica incierta, de interpretaciones discutibles, de hipótesis no completamente verificadas y de especulaciones de las cuales ninguna es demasiado importante. Una parte de la masa es verdadera ciencia, otra es filosofía... una parte es especulación y otra todavía es material desorganizado". Actualmente, todo esto tiene que aceptarse como cierto, aunque la ciencia generalmente es más cuantitativa y sus generalizaciones e interpretaciones dependen lógicamente de una base de hechos algo más firme. Sin embargo, muchas teorías geológicas se apoyan en lo que Chamberlin (1904) aludió como "la prueba fundamental" y que Geikie (1905) llamó "un equilibrio de probabilidades". A menudo, las explicaciones de los geólogos dependen del criterio para seleccionar las hipótesis de trabajo y revisarlas a medida que se acumulan los datos. Consecuentemente, del mismo modo que insiste Bemmelen (1961), la capacidad personal del científico aquí es más importante que en las ciencias que se atienen principalmente a los instrumentos y no utilizan una aproximación histórica para sus problemas. La geología ha logrado avanzar más por la observación, por la descripción y por la clasificación que por el experimento y el cálculo.

El geólogo tiene que trabajar en un ambiente intelectual al que no están acostumbrados muchos otros científicos de la física. Con el fin de comprender la naturaleza de los problemas y conceptos geológicos, se debe aprender a vivir con incertidumbre hasta un grado no impuesto por problemas que implican sistemas cerrados, variables aisladas, experimentos verificables y tratamiento estadístico de un gran número de acontecimientos observables. Además de los

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M G.

científicos de la física, el geólogo comúnmente afronta problemas de trabajo con *productos finales* que resultan de la interacción de muchas variables complejas. Generalmente es difícil aislar las variables de la experimentación práctica. A menudo, las variables son más numerosas que los parámetros necesarios para lograr una solución, y éstos operan sobre variaciones extremas de magnitud.

La geología se diferencia de las otras ciencias principalmente en su interés por el tiempo. Los procesos y reacciones que al verificarse de manera tan lenta son prácticamente inobservables en el laboratorio, pueden ser de gran importancia cuando operan a través de muchos millones de años. Los geólogos deben intentar determinar con frecuencia dónde un fenómeno es el resultado de un proceso intenso que actuó por un corto tiempo o dónde el proceso operó con baja intensidad sobre un largo periodo de tiempo. ¿Puede relacionar directamente los experimentos de laboratorio a corto plazo con los fenómenos naturales que pudieron haber requerido una cantidad de tiempo infinitamente más grande? ¿Se justifica que acelere el ritmo de un experimento con el fin de reducir el factor tiempo? El geólogo debe tener confianza no solamente en la estabilidad de sus experimentos, sino admitir como algo real que, si se dispone del tiempo suficiente, muchos fenómenos experimentalmente irreproducibles en la actualidad *pueden* materializarse en la naturaleza. Siempre se requiere un esfuerzo mental positivo para ver los problemas en su propia perspectiva temporal.

Otra diferencia principal, entre el punto de vista del geólogo y de otros científicos, es que para aquél es una necesidad "predecir el pasado". Bubnoff (1959) cree que la principal diferencia entre la geología y las otras ciencias físicas "descansa en el hecho de que la geología no sólo debe explicar la situación contemporánea por medio de los fenómenos contemporáneos, sino que también debe observar y señalar una génesis, un proceso que se verifica en el tiempo y del cual no pueden ser alcanzadas por nosotros las diferentes etapas por medio de la observación inmediata". Umbgrove (1947) ha comparado al geólogo con el historiador que reconstruye el pasado utilizando los datos disponibles y, cuando éstos son incompletos, emplea proyectos temporales para llenar el vacío dejado por los datos ausentes. "Puesto que muchos fenómenos terrestres no pueden ser verificados experimentalmente y, por lo general, el geólogo no puede 'descubrir' directamente el problema es necesario que utilice varios métodos indirectos de análisis... Estos métodos de razonamiento y 'explicación' son necesarios debido a que el geólogo trata con los factores tiempo y escala que están más allá de la experiencia humana". (Hagner, 1961.)

Los físicos y los químicos están acostumbrados a estudiar y manipular objetos sumamente pequeños. Si bien esto es cierto, hasta un grado determinado, para los geólogos, también ellos deben intentar formarse una idea del tamaño relativo y el comportamiento de las unidades de materia que son mucho más grandes que el observador. Se puede observar las huellas de los átomos en una cámara de ionización, pero probablemente pasará algún tiempo aún antes de que el hombre pueda observar adecuadamente un continente en movimiento. La escala en la geología varía de lo submicroscópico a lo planetario y desde la estructura de los cristales hasta la estructura de la Tierra.

En la geología hay una tendencia que rápidamente se aproxima a la cuantificación; sin embargo, esta ciencia difiere de algunas otras en que el grado en que emplea los datos cuantitativos es mucho menor. En esta relación, muchos científicos parecen creer que los datos cualitativos son enteramente subjetivos, mientras que los cuantitativos son objetivos. Pero como Birch (1951) ha dicho: "Nadie jamás descubrió una cualidad aparte de una cantidad ni una cantidad aparte de una cualidad. ¿Por qué, entonces, estamos tan ansiosos de adoptar las hipótesis sobrenaturales de que lo cuantitativo es objetivo y real y lo cualitativo es solamente subjetivo?". Los geólogos están interesados profundamente en este tema debido a que tratan "un núcleo indispensable de observación cualitativa que forma virtualmente el fundamento de todo estudio geológico..." (Krumbein, 1960).

Como ya se ha establecido, a los físicos y a los químicos les conciernen principalmente los problemas del presente y con una escala de tiempo estrechamente afín a la del observador. Se ha dicho que estas ciencias, en lo esencial, han sido afortunadas porque deliberadamente han restringido su alcance temporal, evitando de esta manera los tipos de problemas que no pueden ser aproximados por experimentos. Sin embargo, el geólogo no puede escapar a tales problemas y, a pesar de la complejidad de los fenómenos terrestres y al registro incompleto de la historia de la Tierra, ha logrado establecer conceptos principalmente por métodos cualitativos que han resistido la prueba del tiempo y, en algunos casos, han sido verificados por medio de experimentos.

Quizá el factor más importante en el progreso de la geología ha sido el desarrollo de un "bastidor geológico de la mente", el que se adquiere casi por necesidad en el esfuerzo cotidiano del pensamiento acerca de los inmensos periodos de tiempo, unidades muy grandes de materia y la interacción de variables complejas. Puesto que a la geología le resulta imposible duplicar la naturaleza en el laboratorio,

a menudo los fenómenos naturales son estudiados como unidades. Donde es posible, los factores son aisilados para el análisis, pero puesto que es imposible llevar una montaña al laboratorio, la experimentación desempeña un papel menos importante que el que tiene en la física y en la química. El estudio de la naturaleza en conjunto busca el tipo de razonamiento en el cual *todas* las variables son consideradas tanto como sea posible, aun cuando esto haga necesario "suplementar en el pensamiento los hechos parcialmente aprovechables" (Mach, 1903). La coordinación de datos observables directamente con los imperceptibles por suplementos mentales ha producido modelos suficientemente útiles para predecir la localización de aceite y gas y la presencia de minerales en el subsuelo.

Aunque las interpretaciones de la evolución de las montañas, de las cuencas y de la corteza de la Tierra misma deben estar basadas en leyes físicas, hay muchas cosas relacionadas con éstos y otros rasgos gruesos de la Tierra "que no pueden ser comprimidos en una fórmula y que solamente pueden ser descritos" (Bertalanffy, 1952). Como ya lo ha dicho Bemmelen (1961, Pág. 458)

> ... la materia reaccionó sobre la materia en un número infinito de combinaciones en tal forma que ha originado esencialmente nuevas posibilidades y nuevos factores, los llamados 'fenómenos emergentes'. Estos no pueden ser explicados inmediatamente por las leyes naturales de las ciencias básicas... las ciencias naturales tienden a poseer cierto tipo de jerarquía en la cual las reglas y las leyes de las etapas más simples son también válidas para las más altamente organizadas, aunque no se verifique lo inverso.

Debido a que la Tierra no se comporta igual que una piedra, el geólogo ha procedido sobre la base de que, a menos que las leyes físicas pertinentes y verdaderamente fundamentales sean violadas, la evidencia geológica debe ser aceptada en su significado literal. "En muchos casos, como en los de las controversias del siglo XIX sobre la edad de la Tierra y el espesor y rigidez de su corteza, la historia ha demostrado que los geólogos han estado más cercanos a lo correcto que los otros científicos de la física". (Hagner, 1961).

Los conceptos y teorías geológicos difieren mucho en la integridad y cantidad de los datos u observaciones sobre los cuales están basados y, consecuentemente, en su confiabilidad y aceptación general. La teoría de la diferenciación magmática por el asentamiento de cristales y cristalización fraccionaria, por ejemplo, está bien apoyada por las pruebas de campo y por la evidencia experimental. Sin embargo, no existe un acuerdo general para cualquier teoría que trate sobre la construcción de montañas, a causa de que los datos sobre los cuales se apoya son fragmentarios. En consecuencia hay

pocas leyes rigurosas aplicables en gran escala a los fenómenos terrestres.

La física y la química tratan principalmente de los procesos y la predicción de los resultados por la acción de éstos. Por ejemplo, una suposición básica de termodinámica es que es necesario conocer solamente el estado de un sistema y las condiciones impuestas con el fin de predecir el resultado —no se precisa del conocimiento de la "trayectoria" del proceso—. La geología trata de los macroprocesos formados de muchos procesos dinámicos subsidiarios. El producto final observable es la suma de microprocesos sucesivos que han operado a lo largo de una trayectoria particular, comúnmente tortuosa. El estudio de la historia en la ciencia es la diagnosis de estas trayectorias. Muchas líneas de evidencia geológica sugieren que dos diferentes trayectorias pueden conducir aproximadamente al mismo tipo de producto final, por ejemplo, la formación de granitos por diferentes procesos. Tal posibilidad se opone a la creencia, quizá intituitivamente sostenida en algunas ciencias, de que los productos finales característicos, por lo general, se forman en una sola manera.

Es interesante notar que en el siglo XX los científicos de la física han llegado a sospechar que su razonamiento y su materia han estado muy restringidos. La inmensidad del tiempo, por ejemplo, ha recibido bastante atención en la teoría de la relatividad. Actualmente el físico teórico debe inferir lo que no se puede observar. Cada vez está más interesado con los fenómenos que no pueden transferirse dentro de las percepciones reales de los sentidos y comprobarse por la experiencia directa. Al igual que el geólogo, debe "suplementar en el pensamiento los hechos parcialmente observables". Los principales avances en la física y en la química pueden presentarse como consecuencia de la concentración en el conjunto y no en sus partes más pequeñas. Esto exigirá un razonamiento más afín al del filósofo, al del historiador, al del geólogo o al del biólogo que al que se acostumbra actualmente entre muchos físicos y químicos.

La actual posición de la geología

Durante el siglo XX han surgido, tanto en la física como en la biología, numerosos conceptos nuevos de aplicación general y gran importancia fundamental. Estas nuevas ideas o principios pertenecen a todas las ciencias y no simplemente a una área particular de la investigación. Aunque la geología ha avanzado mucho durante este periodo, ha producido poco o nada que tenga un significado semejante. Esto es algo sorprendente, pues muchas de las nuevas ideas han estado por mucho tiempo implícitas en algunos campos de la

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA - M.G.

investigación geológica y en muchas líneas del razonamiento de esta ciencia.

Algunos biólogos (Bertalanffy, 1952) han adjudicado recientemente una gran importancia al conjunto general o concepción organísmica de la naturaleza —la idea orgánica de Whitehead— como lo opuesto al punto de vista analítico. Esta idea pone de relieve la importancia de las relaciones entre las partes individuales de un organismo o sistema y expone que la descripción completa de un organismo debe incluir las leyes que gobiernan estas relaciones así como las que gobiernan el comportamiento de las partes componentes. Unida a esta idea se encuentra aquella que se refiere a la estructura y a la forma como manifestaciones temporales de la interacción de procesos que proceden a ritmos diferentes. Es el proceso lo que es fundamental y la naturaleza así vista es más bien dinámica que estática. Al mismo tiempo, el concepto de sistemas abiertos se ha ajustado a este esquema general, observándose el organismo como una región de procesos de influencia recíproca que se mantiene a sí misma en un estado firme de entropía mínima por la disipación constante de la energía. Se han formulado ideas de orden de jerarquía en cada nivel con su propia serie de leyes que trascienden hasta aquellas de los niveles inferiores.

Estos conceptos tratan con organizaciones de la materia más complejas que las consideradas generalmente en la física, pero que no niegan el carácter básicamente estadístico de las leyes de la naturaleza en el dominio microfísico, ni la naturaleza discontinua de los acontecimientos primarios. Los conceptos físicos se han incorporado a la biología moderna con la atención necesaria a los factores biológicos implicados. Aun el principio complementario de Bohr, la idea de que algunas veces la naturaleza no puede ser descrita por un solo concepto sino más bien por pares de conceptos opuestos y complementarios, ha encontrado una aplicación en la biología. Justamente como sucede en la física en las descripciones de las ondas y de las partículas de materia que de manera evidente son igualmente necesarias y válidas, así en la biología parecen ser requisitos para su entendimiento las aproximaciones de la concepción organísmica y de la fisicoquímica.

Los geólogos tratan estos conceptos en forma cualitativa y en grados variables de claridad, aunque evidentemente esto no haya sido apreciado en forma completa por los científicos de otras disciplinas, o aun por los geólogos mismos. A la geología también le concierne particularmente la interacción de procesos de ritmos diferentes y desde hace tiempo se ha comprendido que la descripción de sólo un proceso que opera en una área es incompleta y puede ser engañosa

a menos que sean conocidas sus relaciones con otros procesos. En otras palabras, el concepto del conjunto general es reafirmado. Ha habido también una consideración continua entre los geólogos acerca de la importancia relativa de la uniformidad y del catastrofismo en la naturaleza. Esto es evidente en campos como la tectónica, la paleontología y la estratigrafía; de hecho, cuando tratan con periodos geológicos, esta consideración raramente puede ser evitada. Quizá en ninguna otra rama de la ciencia se verifica con tanta claridad, como en la geología, la naturaleza transitoria de la forma y de la estructura. Muchos sistemas geológicos son "abiertos" en donde la materia y la energía pueden moverse libremente dentro y fuera de ellos, aunque hay una aproximación constante al equilibrio temporal o local. Esta aproximación al equilibrio local es el concepto unificante mayor en la geología.

En el presente, "La geología se encuentra en un periodo inaudito de descubrimientos. . . y las opiniones tradicionales en lo que concierne a los procesos físicos y químicos que han producido y que ahora están moldeando la corteza terrestre están siendo desafiadas. . . existe por ahora un atmósfera de suspenso fascinante tal como la que siempre ha marcado los puntos culminantes en la curva del desarrollo de una ciencia" (Bucher, 1950). En realidad todavía pueden esperarse notables avances en la geología. Los métodos y técnicas de investigación son mucho más precisos que los del pasado; por lo consiguiente, ha sido posible analizar los procesos y fenómenos físicos y químicos con más exactitud que los que estaban sujetos solamente a la especulación o al razonamiento a partir de una información cualitativa inadecuada. Son de esperarse contribuciones importantes a nuestro conocimiento del crecimiento y movimiento continentales, de la naturaleza del interior de la Tierra y de la distribución y movimiento del material en la corteza terrestre. Por ahora, el principio de la herencia se está aplicando a fenómenos tan diversos como el tectonismo, los procesos ígneos, la actividad hidrotermal y la herencia de las propiedades por fases minerales sucesivas. Pospelov (1961) ha discutido que el concepto de los complejos geológicos de múltiples etapas tiene validez en una escala tanto global como regional. El concepto de la paragénesis se ha ampliado y se ha convertido en "la base de la teoría de las formaciones geológicas, complejos metalogénicos, etc. Ocupa por completo el problema de las relaciones entre la actividad ígnea y la mineralización, entre el metamorfismo y la tectónica". Pospelov también ha establecido que "la geología se ha enfrentado con un conocimiento del tipo más alto de forma de movimiento geológico, es decir, un conocimiento de la misma evolución activa de la Tierra".

A pesar del progreso tan marcado de la geología durante el siglo xx, su posición relativa entre las ciencias ha declinado. Esto se debe, en parte, a los espectaculares descubrimientos en los campos de la física cuántica y la biología molecular, además de otros factores, algunos de los cuales se atribuyen al desinterés y a la negligencia de los geólogos. Quizá la geología, más que otras ciencias, se ha dividido en numerosas disciplinas semiindependientes, por lo que ahora resulta que es un grupo de ciencias. Concurrentemente con la división, han ido desapareciendo los límites entre la geología y otras ciencias, aplicándose nuevos nombres a los campos interdisciplinarios. El tema de algunos de estos vigorosos híbridos —geofísica, geoquímica, microcristalografía— ha sido definido para incluir los aspectos más concretos de la geología que puedan estudiarse por los métodos matemáticos, fisicoquímicos y estadísticos. Entonces, lo que arbitrariamente ha quedado bajo el título de "geología" constituye el aspecto menos definido y más incierto de la ciencia.

Necesidad de hacer estudios de la historia y de la filosofía de la geología

Los geólogos han acumulado una vasta cantidad de datos y tienen que enfrentarse con mucho material desorganizado que requiere del análisis y de la síntesis. A los científicos de otras disciplinas les concierne la posibilidad de obtener no solamente la síntesis en sus campos, sino también la unificación de toda la ciencia. Considerando que la geología se apoya en parte sobre la física, la química y la biología, además de ser una ciencia con sus propios derechos, coloca al geólogo en una posición excelente para apreciar los intentos para unificar la ciencia y contribuir a ellos. Pero el geólogo no ha publicado esencialmente nada en relación a tema tan desafiante. ¿Es también en este campo del conocimiento que otros científicos y filósofos adquieren el derecho de prioridad hasta la exclusión de los geólogos?

La geología debe aclarar la singularidad de su aproximación, demostrar que ha contribuido con ideas de interés para todas las ciencias y formular y nombrar estas ideas como principios o conceptos específicos. El geólogo debe demostrar dónde trata en forma general con la naturaleza. Necesita ser analítico por sí mismo en sus procesos del razonamiento, como lo hacen los científicos de otras disciplinas. Recientemente han aparecido algunos estudios sobre los problemas de muestreo, de escala, de tiempo y de mediciones en las geociencias, pero están muy atrasados los análisis de la investigación de la naturaleza de los conceptos geológicos, de los métodos, de los

razonamientos, de la evidencia y de la interpretación. En otras palabras, el geólogo debe levantar el inventario de la naturaleza, las materias, los temas, conocimientos y las direcciones de la geología. Hay una necesidad obvia para el pensamiento fundamental *acerca* de la geología.

Chamberlin (1904), ha dicho que "una atmósfera apropiada de la filosofía. . . es necesaria para la saludable vida intelectual de nuestra ciencia. . ." El estudio de la historia y de la filosofía de la ciencia añadiría "una perspectiva a la sucesión de hechos así como a la de los métodos" y expondría "el vínculo que sostiene unido todo el pensamiento científico" (Margenau, 1960). La historia significa el trazo de la evolución e interacción de ideas entre las diferentes disciplinas. La naturaleza verdadera de la geología y sus métodos de estudio, en parte históricos y filosóficos, animaría al geólogo a examinar la evolución y sustancia de sus ideas.

REFERENCIAS

Bemmelen, R. W. van, 1961, The scientific character of geology: J. Geol., vol. 69, pp. 453–461.

Bertalanffy, L. von, 1952, Problems of life, an evaluation of modern biological thought: London, Watts, 216 pp.

Birch, L. C., 1951, Concept of nature: Am. Scientist, vol. 39, pp. 294–302.

Bubnoff, S. von, 1959, Grundprobleme der Geologie: Berlin, Akademie-Verlag, 234 pp.

Bucher, W. H., 1950, The crust of the earth: Sci. American, vol. 182, no. 5, pp. 32–41.

Chamberlin, T. C., 1904, The methods of the earth-sciences: Popular Sci. Monthly, vol. 66, pp. 66–75.

Garrels, R. M., 1951, A textbook of geology: New York, Harper, 511 pp.

Geikie, *Sir* Archibald, 1905, The founders of geology: London, Macmillan, 486 pp.

Gordon, W. T., 1951, Geology, *in*, H. Dingle, ed., A century of science: London, Hutchinson's Scientific and Technical Publ., pp. 98–113.

Hagner, A. F., 1961, Geologic education and its influence on approaches to geologic problems: J. Geol. Educ., vol. 9, pp. 89–97.

Krumbein, W. C., 1960, The "geological population" as a framework for analyzing numerical data in geology: Liverpool and Manchester Geol. J., vol. 2, pp. 341–368.

Mach, E., 1903, *quoted in* Schrödinger, Erwin, What is life? and other scientific essays: New York, Doubleday, 1956, 263 pp.

Margenau, H., 1960, Foreword to, The search for order, by C. J. Schneer: New York, Harper, xii pp.

Pospelov, G. L., 1961, Geology as a science and its place in natural history: Izvestiya Acad. Sci., USSR, Geol. Ser., 1960, (trans. Nov., 1961), pp. 1–11.

Schneer, C. J., 1960, The search for order: New York, Harper, 398 pp.

Stokes, W. L., 1960, An introduction to historical geology: New Jersey, Prentice-Hall, 502 pp.

Thomas, H. H., 1947, The rise of geology and its influence on contemporary thought: Ann. Sci., vol. 5, pp. 325–341.

Umbgrove, J. H. F., 1947, The pulse of the earth: The Hague, Nijhoff, 358 pp.

ROBERT F. LEGGET

National Research Council of Canada

La Geología al Servicio del Hombre

Desde el comienzo de la historia, la evolución del linaje humano ha implicado un íntimo contacto con la Tierra. Sobre su superficie el hombre ha edificado su hogar, desde las épocas primitivas de la choza de lodo hasta los días actuales caracterizados por sus elevados rascacielos que proporcionan alojamiento a los habitantes de las urbes. De las minas excavadas a varios cientos de metros en la parte superior de la corteza terrestre ha obtenido sus combustibles con los que ha generado calor y potencia, sus metales preciosos para hacer trueques, sus metales útiles para su uso y decoración y todo el material que ha necesitado para sus construcciones. En tierra ha trazado los itinerarios de su transportación, desde los primitivos senderos para comunicar los poblados entre las selvas hasta las grandes carreteras, ferrocarriles y aeropuertos actuales; ha perforado túneles a través de las montañas cuando lo ha creído necesario y ha tendido puentes sobre los ríos y valles haciendo recto lo que es curvo y planos los sitios escabrosos. Y los cimientos de todas las estructuras que ha construido en cualquier época, desde el más simple altar de sacrificios del hombre primitivo hasta las plataformas de lanzamiento de cohetes dirigidos a la Luna, han dependido para su estabilidad esencial, de su contacto con la Tierra.

A medida que evolucionaba la mente del hombre y se creaba al mismo tiempo un sentido de investigación hacia problemas que superaban aquellos de la vida cotidiana, resultó natural que su más vivo interés lo constituyera el terreno sobre el que caminaba y vivía y que le había dado el ser. De tales deseos de saber tan imprecisos comenzó a progresar la geología hasta alcanzar el estado actual en el cual la conocemos. Tan estrechamente se encuentran ligados los eslabones entre el estudio de la corteza terrestre y las actividades diarias del hombre que la inclusión de un trabajo como el que nos

BIBLIOTECA PRINCIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M.G.

ocupa en este volumen conmemorativo podría aparecer, a simple vista, como superfluo. Podría pensarse que los estudios geológicos deben continuar siempre al servicio del hombre, y aunque probablemente esto sea cierto en forma indirecta, en la historia reciente de la ciencia parece haber cierta disposición hacia la benevolencia cuando se estima la investigación geológica como un fin en sí misma y su aplicación a las actividades del hombre como un servicio ligeramente degradante del esfuerzo científico puro. Una revisión de la forma en que ha evolucionado la geología a través de las edades, con especial referencia a sus aplicaciones prácticas, puede, por lo tanto, no estar fuera de sitio en esta colección de trabajos preparados en reconocimiento al septuagésimo quinto aniversario de la sociedad consagrada a la promoción de la geología en todos sus aspectos. No obstante, la rueda parece haber girado un círculo completo.

Los comienzos de la geología se arraigaron en las demandas prácticas del hombre primitivo; los albores de la ciencia moderna condujeron al florecimiento del estudio geológico puro muy apartado de cualquier idea de aplicación, mientras que actualmente el ejercicio de la ingeniería moderna en muchas de sus ramas está haciendo tal presión a la geología que los geólogos se han organizado en dos grupos, uno dedicado al petróleo y otro a la ingeniería. El desafío de las siguientes décadas promete todavía una utilización más amplia de la geología al servicio del hombre, concurrentemente con su avance y desarrollo como una de las ramas en verdad grandes de la ciencia natural.

El hecho de que la "tierra" fue uno de los cuatro elementos de Aristóteles es una indicación clara de la importancia que concedieron los griegos al estudio del suelo. Igualmente reveladoras son las frecuentes referencias a las rocas, a las piedras y a los suelos en la "Historia" de Herodoto quien conoció personalmente las grandes canteras de piedra cercanas a Menfis y "observó que en las colinas había conchas" durante su permanencia en Egipto. ¿Fue el primer paleontólogo? También pudo llegar a ser el primero en observar el ataque de los sulfatos sobre las estructuras, pues registra haber visto "que la sal exudaba de los suelos en tal cantidad como para dañar las pirámides". Sin duda apreció el significado de la geología para la ingeniería al hacer unas cuantas referencias a las excavaciones extraordinarias y desviaciones de ríos ejecutadas por monarcas guerreros. Ciro y su desviación del Eufrates suministran uno de tantos ejemplos. Dos de las primeras reinas de Babilonia también fueron muy activas, como Semíramis, quien construyó presas de suelo macizas para control de las inundaciones y la bella Nitrocris también desvió al Eufrates, pero sólo temporalmente, mientras su canal natural a través de la ciudad era revestido con ladrillos de arcilla cocida y se construía sobre él un puente "en seco" (Herodoto, Trad., 1910).

Las contribuciones de Aristóteles al pensamiento geológico de los primeros tiempos se citan con mucha frecuencia. Aun cuando parece probable que se perdió su libro sobre rocas y minerales, es satisfactorio imaginar que fue él quien inspiró a Alejandro para que enviara una fuerza especial que él mismo dirigió con el fin de hacer un reconocimiento de su imperio y recopilar información sobre la "historia natural" de los distritos que ocupaban, mientras mantenían en condiciones los principales caminos. Cualquiera que haya tenido el privilegio de seguir la ruta de Alejandro bajando el río Kabul desde lo que es ahora Afganistán para después cruzar las planicies de Pakistán desde Peshawar hasta Lahore no puede dudar, sin embargo, que otro atributo de aquella imponente figura de la historia debe haber sido su apreciación vigorosa de la geología.

Que éstos no son casos aislados de los registros clásicos de hace dos mil años puede demostrarse con referencia a Vitruvio, un arquitecto e ingeniero romano de quien casi nada se sabe, excepto que es autor de la obra famosa "Ten Books on Architecture", los cuales se cree fueron escritos un siglo A. de C. Algunos de sus comentarios sobre las materias geológicas son casi asombrosos en su modernidad. Más bien podría ser el santo patrono de los geobotánicos, pues relata (Libro I, Cap. V) que encontró que el ganado de ambas riberas del río Pothereus en Creta, difería en su melancolía. Los médicos encontraron la explicación en una hierba que crecía en una ribera del río pero no en la otra. "Entonces, del alimento y del agua podemos aprender qué sitios son naturalmente insalubres o saludables" es su conclusión profética. (Vitruvio, Trad., 1914.)

Su tratado incluye una sección muy larga sobre los materiales de construcción naturales, tema que trata en gran parte de su Libro II. Lo que uno esperaría encontrar serían descripciones de arena, cal, piedra, puzolana, pero ¿quién podría esperar encontrar —en un libro escrito hace unos dos mil años— la sugestión de que "puesto que las piedras son suaves y porosas, son adecuadas para absorber la humedad de la mezcla y de esta manera secarse con rapidez?" (¿Una lección aún no aprendida por los constructores modernos?). Algo menos científico son las sugestiones que registra Vitruvio para la construcción de los pisos de los comedores, "llenados con carbón vegetal pisoteado en forma compacta, un mortero formado por la mezcla de grava, cal y cenizas es esparcido hasta formar una capa

de 15 cm dando un aspecto de pavimento negro. Entonces, en los banquetes, cualquiera que vacíe el líquido o lo arroje violentamente de su boca, tan pronto como cae seca en el acto y los sirvientes que aguardan nunca se resfrían al caminar sobre esta clase de piso aunque anden descalzos".

Los "Diez Libros" de Vitruvio no sólo reflejan las altas normas de la ingeniería romana de la época en la que los escribió, sino que sin duda también ejercieron una influencia considerable sobre su continuada excelencia. Varios siglos después de escritos estos libros, los trabajos de los ingenieros romanos representaron su papel al formar la Europa que hoy conocemos. Muchas millas de caminos y muchos ejemplos de las principales estructuras romanas todavía perduran y están en servicio a pesar del paso de los siglos. El hecho de que no existan ejemplos conocidos de mampostería ciclópea o poligonal, todos los ejemplos de construcciones romanas existentes son de bloques rectangulares de piedra colocados en series regulares, sugiere que los ingenieros romanos tuvieron una apreciación eficaz de la importancia de la propia selección de la piedra de construcción y su explotación en la cantera; el uso cuidadoso y selectivo del travertino suministra un ejemplo específico. El descubrimiento que hicieron de las propiedades insólitas de la ceniza volcánica en las cercanías de Nápoles, que ahora se llama puzolana pero que en aquel entonces recibía el nombre de *pulvis Puteolanus*, y especialmente la combinación de este material con la cal, abrió nuevas perspectivas para la construcción romana creando obras maestras como la del Panteón. Y aunque no perforaban túneles frecuentemente, los que se sabe que construyeron demuestran, sin lugar a dudas, la apreciación de la geología de las rocas atravesadas. El verter vinagre sobre calizas calentadas como un medio para efectuar excavaciones, de efectos bárbaros sobre los esclavos pero efectivo cuando se utilizaba en el tipo adecuado de roca, suministra un ejemplo inusitado.

Puede decirse que estos ejemplos no son las aplicaciones de la geología a las obras del hombre, sino que son simples incidentes en la evolución de la práctica ordinaria de la ingeniería; el nombre *geología* no se utilizó durante otros mil años. ¿Pero acaso no puede hacerse el mismo comentario acerca de las primeras fases de todas las principales ramas de la ciencia y sus aplicaciones? La química y la física no se presentaron totalmente desenvueltas a la experiencia del hombre, sino que comenzaron en forma vacilante a través de estudios y ensayos de los hombres que mostraron interés por ellas. De hecho, la aceptación general de los términos "física" y "química" y su reconocimiento como disciplinas distintas son innovaciones relativamente recientes. Sin embargo, uno podría imaginarse que la geología, al adquirir tal primacía sobre las otras ramas de la ciencia, habría de permanecer a la vanguardia de la evolución científica a través de los siglos. Pero esto no fue así. La grandeza de Roma desapareció, a la vez que la evolución humana penetraba en una época de atraso que duró largos siglos. Los estudios históricos recientes están demostrando que las llamadas Edades del Oscurantismo no estuvieron desprovistas de todo progreso, como muy a menudo se piensa, sino lo que ocurrió fue que el tiempo de la evolución fue funestamente retardado en todo el mundo occidental. Hubo avances en otras partes del mundo, algunos de gran significado, pero durante mil años o más el hombre occidental pareció contentarse con el mundo físico que conocía y las mentes que ensayaron y las manos que experimentaron fueron pocas en realidad. Cuando uno echa un vistazo general al crecimiento del pensamiento científico durante este largo periodo, tal como el que ofrece con tanta esplendidez el elocuente volumen de Charles Singer "A Short History of Scientific Thought to 1900", la posición retardada del estudio geológico en el que se efectuó un pequeño avance científico se convierte en algo de lo más embarazoso.

El mundo árabe, aun cuando contribuyó en forma tan notable al conocimiento matemático y astronómico, parece que tuvo muy poco interés en el estudio de la Tierra. También parece probable que la actitud de la Iglesia Cristiana antes de la Reforma puede haber retardado los estudios geológicos. Y, sin embargo, al encontrarse uno en las grandes iglesias de las abadías medievales, que todavía se utilizan como catedrales en toda su belleza, resulta difícil imaginar que los doctos frailes quienes las construyeron hayan aceptado, sin preguntarse acerca de su naturaleza, las variadas piedras que explotaron en las canteras y que colocaron en la obra que construían con una pericia evidente. Por ejemplo, es recomendable observar en la catedral Wells, en el occidente de Inglaterra, los grandes arcos invertidos abajo de la torre central, instalados como una medida preventiva en el siglo XIV, los cuales lo llenan a uno de admiración no sólo por lo que ellos representan, en lo que a pericia en construcción se refiere, sino también a la forma notable en la que los frailes fueron capaces de evitar una ruptura catastrófica en los cimientos la cual deben haber imaginado puesto que emplearon la única solución.

No obstante, los registros permanecen mudos y así debe tolerarse el misterio de la indiferencia hacia la geología. Aun el renacimiento de las ciencias en el occidente de Europa no acertó a cambiar este extraño estancamiento de la investigación geológica. Leo-

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES

nardo da Vinci con toda naturalidad aplicó su genio único al estudio de la Tierra y a otras muchas cosas más. Sus primeras observaciones de las montañas fueron registradas en el año 1508 pero, así como en otros campos, sus observaciones agudas no condujeron a un despertar general del estudio geológico. En realidad, no fue sino hasta bien entrado el siglo XIX cuando se encuentran los primeros movimientos generales de interés verdadero en el conocimiento de los elementos componentes de la corteza de la Tierra. Sin embargo, por esta época Laplace publicó su monumental "Mecánica Celeste", el examen más completo del conocimiento astronómico jamás hecho y una obra que puede estudiarse con provecho aun en nuestros días.

Realmente el contraste es notable y, de hecho, tan interesante que exige una explicación. ¿Pudiera ser, aunque el caso es distinto con relación a las otras ciencias, que el surgimiento del estudio geológico moderno haya tenido que esperar el comienzo de la edad industrial y a las exigencias prácticas de la moderna ingeniería en cuanto a obtener información acerca de la corteza terrestre y de los materiales que la componen? A primera vista, tal sugestión parecería que se aproxima a lo absurdo, tan subordinadas han sido las aplicaciones de la geología a la prosecución de los estudios geológicos básicos hasta hace relativamente unos cuantos años. Sin embargo, cuando se estudian los registros de los pioneros de la geología se evidencia en el acto alguna justificación a tal sugestión.

Por ejemplo, es bien sabido que el primero de estos "gigantes de la geología" (como felizmente se les ha llamado), Abraham Gottlob Werner fue nombrado inspector de minas y profesor en explotación de minas y mineralogía en la Academia de Freiburg en 1775, cuando tenía solamente 25 años de edad, donde impartió enseñanza durante casi cuarenta años hasta que le fue imposible continuarla al resucitar el ejército de ocupación de Napoleón. Su pericia como maestro nunca fue puesta en duda aun cuando algunas de las teorías que enseñó se convirtieron en el centro de grandes controversias. Sin embargo, su enseñanza estuvo específicamente relacionada con la aplicación de la geología a la explotación de minas, de tal manera que fue un geólogo eminentemente práctico. Aun su antipatía por escribir y su morosidad en relación a lo poco que escribió prefiguró con toda claridad lo que ha llegado a ser (desgraciadamente) casi en una característica de aquellos a quienes les concierne la aplicación de la ciencia geológica al servicio del hombre (Fenton, 1952).

Sin embargo, generalmente no se reconoce que el gran antagonista de Werner, el escocés James Hutton, sintió interés por la geología por medio de un motivo eminentemente práctico; su importancia en la elaboración general del desenvolvimiento de la teoría

geológica tuvo como consecuencia la de obscurecer su primitivo interés por la geología aplicada. Después de sus primeros estudios en medicina y de su decepción por las perspectivas que ofrecía la profesión médica, regresó con su amigo James Davie con quien compartió su interés por la producción de sales amoniacales mientras que al mismo tiempo cultivaba la pequeña propiedad que le dejara su padre, tarea a la que aplicó su insólito ingenio científico y que lo obligó a viajar extensamente por toda Europa con el fin de estudiar los métodos agrícolas más avanzados que pudiera encontrar. Su granja llegó a ser una granja modelo; y es evidente, más allá de toda duda razonable, que su actividad agrícola introdujo a Hutton al estudio científico de la Tierra, pues notó con certeza la relación de las propiedades de los suelos con el carácter de las rocas subyacentes así como los efectos insidiosos de la erosión. Cuando en 1768 arrendó su granja y se trasladó a Edimburgo para consagrarse a sus estudios científicos, tenía cuarenta y dos años de edad e iba respaldado por una gran experiencia y un interés geológico que se le había despertado en grado sumo por sus actividades prácticas y, particularmente, las que se refieren a la agricultura científica.

D'Aubuisson y von Buch, habiendo sido discípulos de Werner, podría esperarse que hubiesen tenido interés en las aplicaciones de la geología a la explotación de minas. Von Buch realmente desempeñó un puesto de inspector de minas durante un año, en Silesia, antes de obtener la herencia que le dio la libertad para continuar sus intereses científicos como él lo había deseado. Es bien sabido que cuando en 1818 Adam Sedgwick fue electo para la cátedra de geología en Cambridge sus conocimientos de la ciencia eran escasos, pero su indudable educación clásica fue la base evidente para lograr su elección. Muy pronto aprendió geología en el campo, comenzando en las minas de plomo británicas, y prosiguió con el estudio de las minas de cobre de Staffordshire y después en las grandes minas de sal situadas en Northwich, Cheshire. En sus últimos años, Sir Charles Lyell, nunca desdeñó el estudio de los accidentes en las minas, a pesar de las exigencias de su época y de sus viajes tan extensos.

De un significado aún mayor es el hecho de que en su arenga presidencial a la Geological Society of London en febrero de 1836, Lyell, después de anunciar el otorgamiento de la medalla Wollaston a Agassiz, continuó para indicar la parte con la que contribuyó a la formación del Geological Survey of England, el primer departamento geológico nacional que se formó en el mundo:

> A principios de la primavera del año pasado la Master General and Board of Ordnance se dirigió a los profesores de geología, Dr. Buckland y

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MEN
JUIZ DE FORA

al Sr. Sedgwick, de las universidades de Oxford y Cambridge y al que suscribe como presidente de esta Sociedad, para ofrecer nuestra opinión en cuanto a la conveniencia de combinar el reconocimiento geológico de los condados ingleses con el estudio geográfico de acuerdo con los avances actuales. Accediendo a este requisito, preparamos un informe en conjunto en el cual nos empeñamos por establecer nuestra opinión por lo que toca a las grandes ventajas que deben acrecentarse, considerando nuestro empeño no solamente calculado como para estimular la ciencia geológica, la cual debería constituir por sí misma un objetivo suficiente, sino también una labor de gran utilidad práctica en relación con la agricultura, explotación de minas, construcción de carreteras, en el desarrollo de canales y ferrocarriles y otras ramas de la industria nacional (Lyell, 1836, Pág. 358).

También quizá sea de una mayor significación encontrar un desarrollo paralelo en el comienzo de la ingeniería civil moderna. El gran pionero inglés en este campo fue un albañil de Yorkshire. John Smeaton (1724-1792) adquirió una habilidad tal en el diseño y construcción de estructuras notables que es ampliamente reconocido como el primer ingeniero civil. Su obra maestra de mampostería fue la Eddystone Lighthouse cuyos restos todavía permanecen erectos en Plymouth Hoe. La torre de mampostería fue construida entre 1756 y 1759. Muchos rasgos de su construcción son notables, como por ejemplo el que se haya empleado como material de construcción la puzolana de los romanos gracias a las investigaciones de Smeaton quien, por fortuna, escribió explicando todo el proyecto y los conocimientos geológicos que contiene son realmente reveladores. Su instrucción como albañil quizá sea suficiente para justificar el detalle con el que describe sus indagaciones para determinar el tipo correcto de roca que debería emplear en la construcción del faro; pero la forma en que examinó las rocas traidoras sobre las cuales tuvo que construir la estructura va más allá de lo que un albañil hubiera podido hacer, máxime tratándose de una obra tan tempranera y pionera. Las propias palabras de Smeaton merecen citarse aunque sea en forma breve:

El conjunto de rocas llamado "Edystone" me parece que está constituido por el mismo tipo de roca y éste es tan peculiar que no he logrado ver otro exactamente igual en Cornwall o Devonshire... Difiere del Moorstone (especie de granito) en que, en vez de estar compuesto de granos o fragmentos pequeños unidos por un cemento fuerte y entremezclados con una sustancia gredosa lustrosa como parece serlo el granito (moorstone) Cornish, está constituido de igual materia pero formado en láminas que tienen, por lo común, un espesor que varía de una vigésima a una sexta parte de pulgada... está inclinada casi un pie hacia el occidente por dos pies horizontales, es decir, a un ángulo de unos 26 grados con referencia al horizonte (Smeaton, 1791, Pág. 12).

Estas son las palabras de un ingeniero civil práctico escritas allá por 1791.

El siglo XIX comenzó antes de que las obras de ingeniería empezaran realmente a transformar el aspecto físico de Europa, aunque la apreciación de la geología, tan bien demostrada por John Smeaton, fue compartida por otros guías en la profesión recientemente creada de la ingeniería civil. La construcción de canales y caminos provocó que se activara mucho la construcción en la Gran Bretaña.

James Loudon McAdam fue uno de los constructores prácticos de caminos que más sobresalió en aquellos primeros tiempos. También publicó un informe acerca de sus ideas sobre la construcción de caminos, un libro del cual se hicieron nueve ediciones. Se descubre sutilmente un sentido de apreciación geológica que afecta el libro, como se puede aquilatar en el siguiente enunciado acerca de los materiales de construcción de caminos:

Los pedernales forman excelentes caminos si se presta la debida atención a su tamaño; pero, por falta de cuidado, muchos de los caminos construidos con ellos son ásperos, poco sólidos y costosos. La caliza cuando se ha preparado y aplicado bien hace un camino sólido y liso y se consolida antes que cualquier otro material pero por su naturaleza no es duradero. Las doleritas, basaltos y rocas afines (whinstone) no alteradas constituyen los más durables de todos los materiales y dondequiera que se apliquen cuidadosamente los caminos resultan comparativamente buenos y baratos (McAdam, 1823, Pág. 20).

Thomas Telford, indudablemente el más grande de los primeros ingenieros civiles ingleses cuya fama lo llevó a acometer trabajos en Suecia y otros países europeos, fue un hombre de acción más que de palabras. Afortunadamente, además de sus escritos breves, tenemos testimonios de su carácter y los trabajos de otros escritores, entre ellos Robert Southey, el poeta inglés quien acompañó a Telford en un viaje de inspección, en 1819, a través de las tierras Altas Escocesas, donde Telford era responsable de muchos proyectos que incluían el Canal Caledoniano. Southey hizo un diario que fue publicado en forma privada por la Institution of Civil Engineers. El hecho de encontrar referencias geológicas regulares en el diario del poeta laureado de Inglaterra debe haber sido parte integrante de las conversaciones sostenidas entre los dos amigos en las que Telford era el ingeniero que explicaba a Southey, el poeta, los detalles de los numerosos trabajos que examinaron juntos. Southey advirtió que se estaba construyendo en Bervie Harbour un muelle nuevo de "conglomerado (pudding stone)... que es, de todas las piedras, la peor para las obras aunque es dura y resistente al tiempo y cuando es colocada en su sitio se comporta como si fuera granito

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MEN...

o mármol". Vieron en Forres un puente nuevo "construido de granito de todos colores... cercano a él se encontraba un banco de granito en tal estado de descomposición o de composición imperfecta que se desmoronaba nada más de tocarlo". Southey también nos hace saber como Telford aconsejó a un hacendado de Skye la forma de explotar un depósito de mármol y para ahorrarse un gran desembolso lo persuadió a que hiciera un primer embarque experimental a Londres. Y cerca de Inverness encontraron un depósito de "margas" constituido "completamente de conchas muy pequeñas, algunas parecidas a los caracoles de mar, otras a las almejas de agua dulce, pero todas muy pequeñas" (Southey, 1929).

La posición de William Smith (1769-1839) no puede ser considerada ahora como un fenómeno aislado, como algunas veces se ha sugerido, sino que más bien es el ejemplo supremo de lo que probablemente fue lo más común en los primeros años de la ingeniería civil. Porque William Smith fue un ingeniero civil y así firmaba, como todavía puede verse en algunos documentos. Es muy divertido notar cómo en algunos escritos geológicos se da vueltas en torno a este hecho fundamental debido a que a Smith se le atribuyen nombramientos como agrimensor y corredor de fincas rurales. Por fortuna, los trabajos de ingeniería del hombre que bien merece el título de "Padre de la Geología Británica" están bien documentados y pueden considerarse tan completos como lo fueron sus estudios geológicos que son el firme apoyo de su fama. Toda su carrera profesional fue una mezcla íntima de la geología y sus aplicaciones a la práctica de la ingeniería por lo que resulta innecesario hacer algo más que esta breve referencia. Puede ser provechoso recordar que su famoso mapa (que apareció en 1815) era portador de un título muy largo que comenzaba con "A Delineation of the Strata of England and Wales, with part of Scotland, exhibiting the Collieries and Mines..." No existe duda alguna en cuanto a la apreciación de William Smith del valor de la geología aplicada ni del momento de su revelación inspirada de cómo esta ciencia puede aplicarse al servicio del hombre, pues (de acuerdo con sus propias palabras) su "New Geological Atlas of England and Wales", el cual siguió a su famoso mapa entre 1819 y 1824, fue "calculado para explicar la agricultura de cada condado y mostrar la situación del mejor material para construcción, hechura de carreteras, la construcción de canales y señalar aquellos lugares donde probablemente puedan encontrarse carbón y otros materiales valiosos". Con toda seguridad ésta debe ser una de las primeras cartas de geología aplicada (Phillips, 1844).

¿Qué ha sucedido con la geología en América? Es bien apreciado su reconocimiento hacia los primeros geólogos europeos, pero uno puede preguntarse si el inicio del estudio científico de la geología en los Estados Unidos tuvo el mismo comienzo práctico. La respuesta la encontramos al consultar los testimonios de los primeros geólogos estadounidenses. William Maclure comenzó sus estudios geológicos con el propósito de presentar ayuda en la explotación de minas de hierro, cobre y zinc. Parte de sus últimos años los dedicó a poner en marcha su escuela de agricultura, puesto que siempre mostró un interés continuo por el estudio científico de los suelos. El primer estudio de James Hall en el estado de Nueva York se convirtió en un informe (1843) cuya atención principal se concentró en los temas sobre explotación de minas así como también que fue el primero en explicar la secuencia geológica en dicho estado (Fenton, 1952).

En el Canadá primitivo, con su población ampliamente dispersa y separada por trechos extensos, se encuentra la misma idea, epitomizada en otro imponente fundador de la geología moderna, Sir William Ernest Logan, primer Director de la Geological Survey del Canadá. Nacido en Montreal en 1798, Logan fue enviado a estudiar a Edimburgo y después entró a la casa comercial de un tío que radicaba en Londres. En 1831 se trasladó a Gales para hacerse cargo de una fundidora de cobre, despertándose su interés en la explotación del carbón local, por lo que preparó un mapa geológico del campo carbonífero sin tener ninguna instrucción y esto lo condujo a hacer un estudio detallado de las arcillas inferiores asociadas con el carbón de las que presentó un trabajo a la Geological Society (de Londres) en 1840. Zarpó hacia Halifax en 1841 e inmediatamente que desembarcó inició los estudios de campo de la geología canadiense. La lectura de los informes que preparó aún resultan estimulantes y el interés se acrecienta todavía más por sus brillantes dibujos a tinta.

Su trabajo atrajo pronto la atención con el resultado de que en 1842 fue designado director de un Departamento Geológico 15 años antes de que se constituyera el Dominio del Canadá. En apoyo a su candidatura, Sir Henry de la Beche, director de la British Survey, estableció que "Deseo, además, hacer la observación de que el señor Logan está altamente capacitado como minero y como metalurgista para indicar las aplicaciones que se pueden hacer de la geología a los propósitos útiles de la vida, un fin de la más alta importancia en un país como el Canadá, cuya riqueza mineral es tan poco conocida". Desde el momento en que se hizo este nombramiento hasta su retiro en 1869 (murió en 1875), dio la impresión de que

hacía el trabajo de varios hombres y llegó a convertirse en una figura legendaria en toda la parte oriental del Canadá.

El aspecto práctico de su trabajo resultó evidente por la forma en que sus investigaciones fueron utilizadas por ingenieros tan grandes como Thomas Keefer y George Stephenson (particularmente por el proyecto de los pilares del Puente Victoria, Montreal, los que todavía están en uso). Otros muchos le hicieron ofrecimientos provechosos y mejor remunerados. Al escribir sobre una de estas ofertas hizo la siguiente observación interesante:

> Cuando el gobierno británico cedió el territorio de Michigan al final de la última guerra estadounidense, lo hizo mostrando tan poco interés en él como si hubiera sido de puro granito, por lo que me atrevo a decir que ellos ignoraban que en el corazón de este territorio existía un campo de carbón de 30 720 km² —más grande que el más grande de la Gran Bretaña aunque respecto a los de los Estados Unidos resultaba ser el más pequeño, ya que este último país posee otro de 140 800 km² y un tercero de 153 600 km²... Tomando todo esto en consideración, por más que he solicitado a mi hermano Edmond, de Edimburgo, quien tiene un amigo en las Indias Orientales, que haga algunas averiguaciones sobre este asunto, imagino que usted verá que las probabilidades indican que seguiré atado al Canadá (Harrington, 1883, Págs. 235-236).

Es tan aplicable a este estudio toda la filosofía de Logan que es difícil resistirse a la tentación de hacer citas de sus brillantes escritos. Quizá pueda admitirse una más, precisamente la que se refiere a la definición de la labor que desarrolla el Departamento Geológico del Canadá.

> El objetivo del Departamento es descubrir los recursos minerales del país y esto es necesario tenerlo siempre presente. Cualesquiera que sean los nuevos hechos científicos que resulten de él, ellos surgen en el curso de lo que imagino que es una investigación económica que se continúa de una manera científica... Los análisis de nuevas especies minerales mientras son juzgadas directamente como un resultado científico, siempre deben tener una relación económica. Usted no puede decir cuándo una nueva sustancia puede aprovecharse o no en forma lucrativa, a menos que se haya cerciorado de sus propiedades. Los análisis de las especies minerales nos guiaron hacia el conocimiento de los feldespatos cálcicos, de tanta importancia agrícola para la región Laurentiana. De esta manera, la economía política conduce a la ciencia y la ciencia a la economía política (Harrington, 1883, Págs. 293-294).

La economía política conduce a la ciencia y la ciencia a la economía política —y esto lo ha dicho el hombre cuyos estudios del Precámbrico han resistido la prueba de un siglo de estudio ulterior.

Las palabras de Edmund Burke llegan con fuerza a la mente en el momento que echamos un vistazo a los primeros tiempos de los estudios geológicos: "La gente nunca tendrá derecho a pensar en el porvenir mientras no mire atrás, hacia sus antepasados". Un aniversario, como el septuagésimo quinto de nuestra Sociedad, no es solamente para lanzar una breve mirada al pasado, no tan sólo un instante para revisar nuestras realizaciones actuales, sino que también debe ser el momento de mirar más allá, hacia los desafíos del futuro. ¿Cómo estará la geología al servicio de la humanidad en los años venideros así como seguramente debió haber estado en los días de sus comienzos?

Los años intermedios tienen una conexión natural con la respuesta que ha de darse, aun cuando el testimonio que presentan, sin duda aplicable a la porción restante del siglo XIX, no es muy alentador. A pesar de tales comienzos tan favorables, el divorcio de la geología de todas sus aplicaciones se hizo tan real a medida que avanzaba el siglo y en tal escala que, en 1880, un eminente geólogo inglés dijo que la cantidad de dinero gastada infructuosamente en Gran Bretaña en una ridícula investigación sobre el carbón, por supuesto lo que él recordaba, habría pagado el costo total del British Geological Survey. Los primeros registros de explotación de minas están repletos con ejemplos de negligencia geológica y su relación apoya esta misma tendencia.

Los avances en la aplicación de la geología a la ingeniería civil siguieron un curso similar. La culpa, sin lugar a duda, debe ser compartida igualmente por geólogos e ingenieros, cediendo el respeto mutuo de los primeros años a diferencias que en algunas ocasiones fueron mordaces. Otro de los grandes ingenieros ingleses pioneros estuvo implicado en tales divergencias, las cuales, aunque ahora resultan divertidas, deben haber tenido particularmente resultados infortunados en aquella época.

Isambard Kingdom Brunel fue un joven de genio cuya experiencia la obtuvo de su distinguido padre, Mark Isambard Brunel (quien nació en Francia) que en una época fue Jefe de Ingenieros de la Ciudad de Nueva York. En 1824 Mark Brunel fue el responsable de iniciar los trabajos del primer túnel subacuático, bajo el río Támesis en Rotherhithe, al este de Londres. En la base de numerosos sondeos de prueba, los geólogos aseguraron a Brunel, padre, que debería encontrar un estrato fuerte de arcilla azul y evitar las arenas movedizas que habían causado trastornos al intentar antes la construcción del túnel. La predicción resultó errónea y aunque el túnel fue terminado por Brunel, padre, el costo extra, las dificultades increíbles

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES

y los peligros que tuvieron que superar deben haber dejado una huella indeleble en la mente del joven Brunel.

Cuando se llevó a cabo la construcción del Great Western Railway, casi veinte años más tarde, el joven Brunel se enfrentó a la gran tarea de construir el Box Tunnel de 3.2 km de longitud entre Chippenham y Bath. El túnel penetra arcilla azul, marga azul, el Oolite Inferior y el Gran Oolite o Bath Stone. Después de finalizado y puesto en uso el túnel, el Reverendo Doctor William Buckland, en aquel tiempo en Oxford, causó muchas dificultades al declarar, aun cuando ni siquiera visitó el túnel, que aquella sección sin revestir era sumamente peligrosa y que sin duda se caería "debido a la conmoción de la atmósfera y a la vibración causada por los trenes". A esto, Isambard Brunel replicó que aunque le causaba pena su ignorancia sobre el conocimiento científico de la geología, no obstante había adquirido cierta experiencia al excavar en la roca en cuestión a la que consideraba como muy segura. Un inspector de la Board of Trade fue llamado para que informara sobre la seguridad del túnel. Finalmente dio todo su apoyo a Brunel. Algunos restos del túnel sin revestir permanecen hasta este día, 120 años después de su apertura (Rolt, 1961).

La investigación de tales argumentos, diferencias y equivocaciones francas, aunque posiblemente de algún interés humano, no es provechosa en un estudio como éste. El cisma fue creado, sin embargo, y persistió a través de todo el siglo. Hubo excepciones individuales, naturalmente, y vislumbres ocasionales de los beneficios derivados de la cooperación, como la serie de artículos de W. H. Penning publicada en la revista inglesa *The Engineer* en 1879 y reimpresa un año más tarde en forma de libro con el título "Engineering Geology" (Penning, 1880).

El aislamiento académico de la ciencia le condujo, casi seguramente, a una evidente atmósfera de indiferencia en el círculo científico del interés público, y el cual estuvo representado, por desgracia, por una ausencia casi completa de los cursos escolares, un olvido que aún persiste en la actualidad y su demérito general que persistía hasta hace poco tiempo en las actividades de los clubes de historia natural y en los similares donde se efectúan experimentos científicos de aficionados. Esta situación también contrasta con la posición que ocupaba la ciencia en sus primeros tiempos. Un libro poco común cayó en manos del autor hace poco con el que se demuestra que, hace casi menos de un siglo, un hombre como el Reverendo Charles Kingsley, autor del libro "The Water Babies" y de otros libros famosos para los jóvenes, era un lector asiduo de libros de geología, además de su dedicación a muchas otras actividades. El libro

"Town Geology" contiene el texto de conferencias pronunciadas en 1872 para "los jóvenes de la ciudad de Chester (Inglaterra)", probablemente en reuniones auspiciadas por la Chester Natural History Society. En su introducción, Kingsley dice:

> Me parece extraño, utilizando un eufemismo, que la gente, cuyo destino es vivir, aunque sea en forma breve, en este planeta que llamamos Tierra, y que de ninguna manera no toda se propone vivir en ella como un ermitaño... fuera tan indiferente en cuanto a adquirir conocimientos acerca de la constitución del mismo planeta y de las leyes y hechos de los cuales dependen, no simplemente su comodidad y su riqueza, sino también su salud y sus propias vidas, así como la salud y las vidas de sus hijos y de sus descendientes (Kingsley, 1877, Págs. xv-xvi).

Volviendo a la prosa victoriana, algo cansada pero agradable, el autor proporciona una idea general diáfana de la geología física y demuestra cómo influye en "The Soil of the Field", "The Pebbles in the Streets", "The Slates on the Roof" y en materias similares muy prácticas. La ciencia de la geología, dice Kingsley, "es (o debe ser), en lenguaje vulgar, la ciencia del pueblo —la ciencia por cuyo estudio, el hombre ignorante del latín, del griego... puede aún llegar a ser... verdaderamente un científico". Y apremia a sus lectores a que utilicen sus ojos aun en sus propios lugares y dice: "Se puede tener la seguridad de que dondequiera que exista un río o aun un desaguadero; una cantera o aun una cantera de grava o de arena a la orilla del camino; y mucho más donde exista el mar o un estuario de marea, ahí siempre habrá geología para aprender, para explicar la mayor parte acerca de la estructura de todos los continentes del globo" (Kingsley, 1877, Págs. 4, 35).

Estas palabras, escritas hace tanto tiempo, todavía resultan extrañamente apropiadas. Después de décadas de indiferencia popular, la geología está comenzando otra vez a ganar cierto reconocimiento general; sus aplicaciones son apreciadas al fin por el hombre de la calle como algo que le afecta. Las conferencias de extensión en la universidad son las equivalentes modernas de la serie de conferencias populares tales como las de Charles Kingsley. A éstas se han añadido, sin embargo, la corriente perenne, la inundación podría llamársele, de literatura popular barata y todo lo que los numerosos medios de comunicación modernos pueden suministrar para obtener información. En la actualidad es común encontrar libros bien ilustrados sobre geología, inclusive en los puestos donde se venden libros pequeños; no puede decirse lo mismo en relación a otras disciplinas científicas, con excepción de la meteorología. Cuando la radio y la televisión se utilizan como medios educacionales, no es ol-

vidada la geología. Por ejemplo, la Canadian Broadcasting Corporation dedicó una de sus series de conferencias "Universidad" transmitidas en sus programas vespertinos de proyección nacional, a una introducción a la geología; más tarde estas conferencias fueron reimpresas para formar un libro (Baird, 1959). Lentamente, la geología se está ganando un lugar para sí misma en los programas de estudios de algunas escuelas secundarias y en algunas organizaciones, como la de los "Boy Scouts", la que cada vez la admite más incluyéndola en su excelente trabajo de instrucción. Otra vez se le está dando el debido reconocimiento como "la ciencia del pueblo".

¿Qué es lo que ha impulsado el despertar del interés público? La verdad de este cambio en la actitud da validez a la pregunta. Así como en tantos otros cambios sociales, el automóvil parecería poseer la clave para dar, cuando menos, una respuesta parcial. La movilidad potencial del público, en general, por medio de la amplia disponibilidad de automóviles particulares acoplada al ocio insólito y a la riqueza extraordinaria que está suministrando la opulenta sociedad de Estados Unidos, ha traído como consecuencia, para el ciudadano común, una cantidad tal de oportunidades para viajar como nunca antes lo había atestiguado el mundo. Cuando se viaja, uno debe estar consciente, hasta cierto grado, de la ingeniería de carreteras sobre las cuales se transita, especialmente cuando la construcción de una nueva carretera interrumpe un temerario viaje a alta velocidad. Entonces puede verse, cuando se espera con impaciencia para pasar en un solo sentido lo que constituye un proyecto de construcción, que el ingeniero civil ha excavado la roca y el suelo para hacer sus cortes y túneles; algunos automovilistas pueden observar que no todas las rocas son iguales. Mientras viaja, el automovilista estará consciente, cuando menos, del escenario que va cruzando. El interés se ha suscitado a tal grado que actualmente se dispone de muchos itinerarios que incluyen información geológica e histórica de rutas excepcionalmente interesantes (W. Texas Geol. Soc., 1958).

Indudablemente que existen otras causas para este renacimiento del interés público por la geología, pero la reflexión sugiere que ello es debido al trabajo del ingeniero civil aceptándolo así la gente que viaja, que es la principalmente responsable. Pocas personas tienen la oportunidad de visitar las minas; y todavía son menos las que piensan sobre la fuente de la gasolina que con tanta libertad consumen; y aunque las aventuras con las acciones mineras pueden hacer que los interesados en estas operaciones financieras lleguen a familiarizarse con los nombres de las minas reales e imaginarios, esto no garantiza el conocimiento de la geología —de hecho, la narración sobria de los acontecimientos geológicos eliminaría en gran parte la

aventura de las agencias clandestinas de valores. Como un ejemplo principal de la aplicación de la geología al servicio del hombre, el ejercicio actual de la geología aplicada a la ingeniería o "geología ingenieril" como ahora se ha dado en llamarla será examinado, por lo tanto, en una breve revisión contra el contexto más amplio del despliegue de la ciencia en sí misma antes de que echemos un vistazo final a lo que el futuro puede reservar. Del mismo modo que en una ocasión advirtió William James, si la filosofía en el más amplio sentido es solamente el pensamiento del hombre que piensa, tal revisión podría sugerir una filosofía de la geología aplicada.

Así como el trabajo de William Smith epitomiza algunas de las primeras relaciones recíprocas de la geología y la ingeniería civil, del mismo modo el trabajo de Charles P. Berkey marca un punto decisivo real en la historia más reciente de la aplicación de la geología al trabajo de la ingeniería civil. En 1905 fue contratado en relación a la construcción del acueducto Catskill para el suministro de agua de la ciudad de Nueva York. Después de medio siglo, sus servicios estuvieron en constante demanda en asociación con muchos de los más grandes proyectos de ingeniería civil de los Estados Unidos. La contribución relevante del doctor Berkey al establecimiento de la Geological Society of America hace que esta referencia a su trabajo sea singularmente apropiada. Después de servir como Secretario de la Sociedad durante dieciocho años, fue elegido como Presidente en 1941 y el mismo año llegó a ser Miembro Honorario de la American Society of Civil Engineers, uno de los muchos honores que se le otorgaron y que él siempre valoró de una manera muy especial. En su discurso presidencial el doctor Berkey habló sobre la asistencia que el geólogo puede prestar a los ingenieros civiles en la prosecución de:

> ... los trabajos que estructuran el progreso de la civilización material y ponen de manifiesto la competencia limitada de la destreza manual de los hombres. Son literalmente fuentes de poder —quizá en esta emergencia actual este poder es para salvar al mundo. En un mundo aparentemente inclinado a destruirse a sí mismo, al menos estas aventuras ven hacia el futuro y se mantienen firmes como si prometieran mejores épocas en un mundo más constructivo. De esta manera clamo por un lugar de honor para estos hombres quienes consumieron sus vidas al diseñar nuevas formas de emplear sus conocimientos de especialización y experiencia e inventiva para las obras públicas más efectivas y para la mayor comodidad y seguridad de hombres y mujeres de cualquier parte (Berkey, 1942, Pág. 531).

Estas palabras fueron pronunciadas hace veinte años; cuán apropiadas resultan para el mundo actual.

Fue en 1928, a la edad de 61 años, que Berkey fue contratado por el U. S. Bureau of Reclamation en el momento en que la monumental Presa Hoover había alcanzado las etapas finales del proyecto. Su ayuda en el estudio de los problemas de cimentación y de los túneles de desviación respectivos, asociados con esta gran estructura, fue registrada en una serie de informes brillantes que de ninguna manera menosprecian los detalles de la geología pertinente, pero que ponen de manifiesto con toda claridad que la seguridad de la estructura de ingeniería depende final y totalmente de la suficiencia de los sustentantes estratos de roca. Este punto de vista en la actualidad es muy aceptado en tal escala que el fracaso de una presa, a causa de los defectos geológicos en su cimentación, es actualmente desconocido. La tragedia del fracaso en la Presa Malpasset en 1959 y las investigaciones exhaustivas de la causa del desastre sirven para confirmar que la sugestión anterior no es de ninguna manera incierta.

De todos los instrumentos y métodos de investigación geológica —métodos geofísicos, el uso de perforaciones largas y pequeñas, tiros y túneles exploratorios, todos suplementarios para detallar los levantamientos geológicos— son ahora utilizados regularmente no sólo para el estudio de sitios convenientes para la construcción de presas, sino también para determinar las condiciones geológicas que deben anticiparse a lo largo de las rutas de los túneles en proyecto. En los estudios para el largamente discutido Túnel del Canal entre Inglaterra y Francia, fueron llevados a cabo estudios comparativos de microfósiles (similares a los que en forma liberal se siguen en el ejercicio de la ingeniería petrolera*) con algún detalle a fin de comprobar la continuidad supuesta del Chalk Inferior a través del fondo del estrecho de Dover (Bruckshaw, *et al.*, 1961).

En todas las aplicaciones de la geología a los trabajos de la ingeniería civil hay beneficios recíprocos de grado variable, pero la excavación de los túneles suministra quizá los ejemplos más obvios. El ingeniero civil puede ser guiado en su trabajo por las predicciones preliminares del geólogo; el geólogo puede obtener información valiosa si se le permite examinar las rocas expuestas a medida que avanza el túnel. Ha quedado registrado el incidente, particularmente deleitable, el cual permitió al doctor Hans Cloos resolver finalmente el enigma de la Fosa del Rin por sus observaciones en el túnel corto bajo el Lorettoberg en Freiburg (Cloos, 1954). Se arrojó nueva luz en algunas de las complejidades de la geología de las tierras altas escocesas por las observaciones hechas a medida que era excavado el gran túnel Lochaber para energía hidráulica abajo

* Esto es propio de la geología petrolera de subsuelo. (N. del T.)

de las pendientes de Ben Nevis (Peach, 1930). Y en años más recientes uno de los túneles más difíciles abierto en cualquier tiempo, el Túnel del Tecolote en California, fue sometido a una buena aplicación geológica antes de ser puesto en servicio; fue utilizado para un estudio detallado de los lineamientos de los estratos del Terciario que penetró (Bandy y Kolpack, 1962). El achicamiento, por medio de ataguías, de los sitios de las presas, proporciona correspondientemente oportunidades únicas para el estudio real de la geología de los cauces.

La construcción de los principales puentes siempre incluye ahora un estudio detallado de uno o más ríos o lagos en los lugares por donde se cruza y el requisito de las perforaciones de prueba, en algunas ocasiones, revelará rasgos geológicos submarinos insospechados. El descubrimiento de una garganta preglacial en el escrecho Mackinac, entre los lagos Michigan y Hurón, en el curso de los estudios de la cimentación del gran puente colgante que ahora atraviesa el estrecho, es un buen ejemplo y muy típico (Rosenau, 1958). Las estructuras de ingeniería civil construidas en mar abierto necesitan investigaciones del lugar de asiento excepcionalmente difíciles que siempre han de proporcionar dividendos en la forma de obtener nueva información de la geología submarina. De un valor único es la información que se ha obtenido de los depósitos deltaicos del río Misisipí derivada de los estudios de mecánica de los suelos y de las muestras de suelos adquiridas en relación con los estudios de los asientos de las plataformas de perforación petrolera lejos de la costa (Fisk y McClelland, 1959).

Aun las obras de ingeniería terrestre como la construcción de caminos y aeropuertos también contribuyen al fondo del conocimiento geológico, especialmente por las nuevas secciones expuestas en las más grandes excavaciones. Al mismo tiempo, el amplio alcance superficial de tales proyectos ha conducido a la elaboración de métodos de investigación de campo los cuales constituyen avances en la técnica geológica. Ha sido notable el uso de los métodos geofísicos (especialmente el sísmico) para el estudio de depósitos someros como los de las áreas glaciadas. El aplicar en la ingeniería los métodos geofísicos para investigaciones de subsuelo ha constituido un eslabón particularmente útil entre la geología y la geofísica, un eslabón que debe ser reforzado al máximo en los años venideros a medida que el concepto de las mediciones cuantitativas se extienda más en la práctica geológica.

Las condiciones geológicas presentes en asientos de construcción más restringidos, como los de las áreas urbanas centrales, ahora ocupan la atención de los ingenieros hasta un grado nunca an-

tes experimentado. La complejidad que cada vez aumenta más sobre la construcción de los cimientos en las atestadas áreas urbanas, debido a la proliferación de los servicios subterráneos, hace del conocimiento de las condiciones exactas del lugar una necesidad virtual. A medida que los registros geológicos de este tipo tan localizado son unidos y coordinados, se crea una información valiosa acerca de la geología que queda debajo de las calles de la ciudad. Por lo tanto, el término, *geología urbana* ha llegado a tener un significado real y no sólo es la yuxtaposición mutuamente contradictoria de palabras como podría aparecer a primera vista.

Existen algunas áreas urbanas críticas en donde una combinación de terrenos de fuerte pendiente y suelos en malas condiciones origina deslizamientos peligrosos, particularmente después de los intervalos de fuerte lluvia. Algunos suburbios de la ciudad de San Luis Misuri están plagados de este peligro, pero el área más grande y más notable que se ha creado y que se encara con este peligro es la constituida por la ciudad y el condado de Los Angeles. La situación se ha tornado tan grave que la legislación ha establecido que se proporcionen informes por un geólogo dedicado a la ingeniería sobre los lugares potencialmente inestables antes de que pueda verificarse algún trabajo. En realidad éste es uno de los mejores ejemplos que puedan darse de la geología al servicio del hombre (Grove, 1957). Este requisito legal ha conducido al establecimiento de una sociedad profesional, la California Association of Engineering Geologists.

Antecediendo a este grupo por más de una década está la Division of Engineering Geology de la Geological Society of America. El establecimiento de esta división (en 1947) fue el reconocimiento público, por la Sociedad, de la importancia de esta particular aplicación de la geología. Ambas organizaciones, sin embargo, son jóvenes en comparación con las divisiones geológicas de varias instituciones nacionales de ingenieros mineros, cuyo trabajo continuado ha proporcionado durante mucho tiempo informes valiosos de las actividades mineras. No mucho más jóvenes que la misma Geological Society son otras dos sociedades estadounidenses que sirven a las necesidades de la geología aplicada. Ahora ambas tienen un alcance internacional y sus ejemplos se han seguido a nivel local por el establecimiento de unas cuantas sociedades geológicas mineras o petroleras vecinales.

La formación de la Society of Economic Geologists en 1920 y de la American Association of Petroleum Geologists en su campo más especializado, en 1917, suministra potencialmente puntos cruciales en las aplicaciones de la geología. Es significativo que las

alternativas consideradas hasta el nombre finalmente adoptado para la Society of Economic Geologists incluyera a la Society of Geological Engineers y a la Society of Applied Geology. Es también notable el hecho de que en las primeras reuniones de la sociedad se presentó un trabajo sobre "The Relation of Economic Geology to the General Principles of Geology" por el presidente R. A. F. Penrose, hijo (1921).

No es común que el boletín oficial de una sociedad anteceda a la sociedad misma, aunque el caso puede aplicarse a la distinguida revista *Economic Geology*, que es el boletín de la Society of Economic Geologists. La primera edición apareció en octubre de 1905 y el Fiftieth Anniversary Volume en 1955. Las dos partes de esta notable compilación, que contiene 1130 páginas, presentan un examen de gran alcance en todos los principales aspectos de la geología de los depósitos de minerales, a la cual se ha dedicado generalmente la revista misma, pero la revisión de los trabajos que tratan de la geología aplicada a la ingeniería, mecánica de suelos y las aguas subterráneas, también está incluida. Es imposible hacer un examen precipitado de esta colección de trabajos tan importante sin apreciar cómo ha contribuido la aplicación de la geología en la investigación de los depósitos de minerales y de los combustibles en los avances tan significativos en la misma ciencia de la geología.

Al iniciarse la exploración para la búsqueda de petróleo en 1913 en Oklahoma, se despertó un gran interés en esta área relativo a la aplicación de la geología para descubrir y obtener aceite. En una comida, en Tulsa, Oklahoma, el 2 de octubre de 1915, se decidió formar una asociación de geólogos interesados en este aspecto relativamente nuevo de la geología aplicada. El 19 de febrero de 1917, también en Tulsa, se organizó la Southwestern Association of Petroleum Geologists, aunque al siguiente año este nombre fue cambiado por el de American Association of Petroleum Geologists. La asociación se ha convertido actualmente en una comunidad mundial con más de 15 000 socios, cuyo número indica claramente la importancia de esta rama de la geología aplicada. A través de su boletín, las revistas especializadas asociadas y más de treinta volúmenes especiales, la Asociación ha hecho contribuciones importantes a la literatura geológica. Como en el caso de la revista *Economic Geology*, el *Bulletin* de la A. A. P. G. incluye muchos trabajos que apropiadamente pueden considerarse como teóricos, algunos aparentemente muy alejados de la investigación sobre el petróleo.

La investigación sobre los minerales y los combustibles todavía continuará por mucho tiempo. La exploración para nuevas reservas de petróleo prosigue actualmente en todo el mundo en una es-

cala sin precedente, a tal grado que sin duda alguna representa en nuestros días la aplicación más extensa de la geología al servicio del hombre. Sin embargo, inevitablemente tiene que ser una aplicación transitoria aun en comparación con la investigación correspondiente a los minerales. Todos aquellos que están familiarizados con el informe Paley —¿y qué geólogo no lo está?— sabrá del desafío que aún existe en el campo de la minería. Dicho trabajo exploratorio implicará la aplicación más asidua de los principios y técnicas de la geología y de la geofísica, si verdaderamente necesitan estar separadas ambas; implicará sondeos profundos bajo la superficie de la Tierra y el fondo del mar y en ésta y en otras muchas formas aumentará el acervo del conocimiento geológico y sin duda hará sus propias contribuciones al avance de la teoría y principios geológicos. La economía proporcionará extenso apoyo a la ciencia y la ciencia a la economía.

Conforme el futuro se convierta en presente y el presente en pasado, ¿quién puede decir qué avances se verán en esta incesante cacería de los tesoros de la Tierra? Es en estos momentos, cuando uno considera cuidadosamente la superficie de la Tierra, que la más importante de todas las aplicaciones posibles de la geología al servicio del hombre comienza a asomarse. La explosión demográfica mundial es evidente y el ritmo de crecimiento todavía no da señales importantes de que se esté debilitando. Aun suponiendo que algunas de las mediciones mundiales para el control de la población, que por el momento pueden considerarse como imperativas, deben introducirse antes que sea tarde, es casi seguro que por el año 2 000 D.C. —un punto crucial en el tiempo que podrán observar muchos lectores de este libro— la población del mundo será el doble de la actual. Para mantener más de seis mil millones de vidas, será necesario aprovechar toda la tierra arable y acrecentar en grado sumo los suministros de agua que harán que los actuales sistemas públicos que se ocupan de proporcionar agua potable parezcan mezquinos. La conservación de los recursos renovables de la Tierra, principalmente suelo y agua, por lo tanto, es una responsabilidad pública que requiere un impulso inmediato.

Algunos pueden estar tentados a decir: ¿qué tiene que ver esto con la geología? Justamente esto, que en la conservación de los recursos renovables de la Tierra para el futuro uso del hombre, especialmente el agua, las obras de ingeniería civil están llamadas a superar todo lo hasta ahora visto, excepto en ciertos ríos fluviales cuidadosamente desarrollados. Y en todos estos trabajos la ayuda del geólogo será esencial, particularmente en todas las consideraciones del agua subterránea y del control de la erosión de los suelos. Estos proyectos son adicionales a los trabajos y construcciones requeridos para el servicio ordinario de las comunidades y de las áreas en cuya ejecución deberá haber una íntima colaboración, vitalmente necesaria, entre ingeniero y geólogo. En todas estas obras el ingeniero debe contar con la información geológica esencial para la estabilidad y seguridad de sus estructuras y con ello el geólogo ganará conocimientos sobre las condiciones del subsuelo tal y como se le revelan por las excavaciones hechas por el ingeniero. De esta manera los límites del conocimiento geológico aumentarán constantemente.

Entonces, ¿cuál es la conclusión del tema? Aun en una revisión ordinaria como ésta, no ha sido posible mencionar todas las aplicaciones principales de la geología al servicio del hombre. La geología militar, por ejemplo, es en la actualidad una rama bien aceptada de la geología aplicada sobre la que se han hecho muchos comentarios. Mucho podría decirse acerca de las nuevas técnicas que aún puede considerarse que tienen un gran valor en todos los proyectos de ingeniería. Sin embargo, es sumamente claro que la geología será aplicada en las obras de ingeniería en una medida cada vez más firme hasta un futuro que la mente pueda prever.

Se ha dicho bien que las simples perforaciones no son geología. No obstante, en la localización de los sondeos de prueba, es necesaria la consulta geológica y en la interpretación de dichos sondeos debe tenerse presente el significado geológico satisfaciéndose mejor las necesidades del ingeniero cuando el geólogo puede utilizar esta nueva información. Claro está que no hay ninguna filosofía especial de la geología aplicada. ¿Cómo podría haberla en la aplicación de la ciencia al arte de la ingeniería? Sin embargo, si el geólogo aporta parte de su responsabilidad en tal esfuerzo de cooperación con una apreciación vivaz de los aspectos filosóficos de su trabajo, estará en condiciones de apreciar más el fundamento filosófico de toda la verdad de la ingeniería. Y con tal conjunción de las mentes en la prosecución de lo que siempre debe ser un trabajo esencialmente detallado y utilitario, ¡de qué potencial se dispone para que los límites del conocimiento avancen mientras sirven a las necesidades del hombre!

Alguien debe haber pensado en lo difícil que fueron de pronunciar cuando fueron leídas estas palabras del finado señor Justice Holmes: "La ciencia nos enseña acerca de una gran cantidad de cosas que no son realmente importantes y la filosofía muy poco de aquellas que sí lo son en grado sumo." Esta opinión olímpica sólo podía esperarse de tan emitente jurista. Para el geólogo en activo, en el campo o en el laboratorio, así como para el ingeniero

ocupado en el diseño o en la construcción de algún proyecto público de necesidad vital, estas palabras les parecerán una herejía. Sin embargo, cuando se establece la admisión sorprendente de las maravillas reconocidas de la investigación geológica o las aplicaciones de la geología aun en las obras más grandes de la ingeniería contra el telón de fondo de la historia humana y al mirar hacia adelante, hacia las edades venideras, las palabras persisten en su desafío, recordándole a uno el dominio de la mente del hombre en todos estos estudios, de la esencia humana de todo el entendimiento. Este no es un pensamiento nuevo, pues descendiendo a través de cuatro siglos llegan las palabras con las cuales este ensayo puede cerrarse en forma más acertada, palabras de un filósofo-científico cuya presciencia sorprende con tanta frecuencia a sus lectores modernos. Debe haber sido con base en pensamientos como aquellos que nos parecen ahora tan osados, que Sir Francis Bacon expresó su gran ansiedad: "Hacer la mente del hombre, con ayuda del arte, una alianza para la naturaleza de las cosas."

REFERENCIAS

Baird, D. M., 1959, An introduction to geology: Toronto, Canadian Broadcasting Corp., 111 pp.

Bandy, O. L., and Kolpack, R. L., 1962, Formaniferal and sedimentological trends in the Tertiary section of Tecolote Tunnel, California: Geol. Soc. Am., Abs., Ann. Mtg., Houston, p. 8A.

Berkey, C. P., 1942, The geologist in public works: Geol. Soc. Am., B., vol. 53, pp. 513–532.

Bruckshaw, J. M., Goguel, J., Harding, H. J. B., and Malcor, R., 1961, The work of the Channel Tunnel Group 1958–1960: Inst. Civil Eng., Pr., vol. 18, pp. 149–178; *See* also discussion in vol. 21, pp. 611–628.

Cloos, H., 1954, Conversation with the earth (trans. by E. B. Garside): London, Routledge and Kegan Paul, 402 pp.

Fenton, C. L. and M. A., 1952, Giants of geology: Garden City, N. Y., Doubleday, 333 pp.

Fisk, H. N., and McClelland, B., 1959, Geology of continental shelf off Louisiana; its influence on offshore foundation design: Geol. Soc. Am., B., vol. 70, pp. 1369–1394.

Grove, D. E., 1957, A geologic challenge: GeoTimes (Am. Geol. Inst.), vol. 2, no. 5, p. 8.

Harrington, B. J., 1883, Life of Sir William E. Logan, Kt.: Montreal, Dawson Bros., 432 pp.

Herodotus, 1910, The History of Herodotus (trans. by G. Rawlinson), 2 vols.: London, J. M. Dent and Sons, Ltd., 719 pp.

Kingsley, C., 1877, Town geology: London, Daldy, Isbister and Co., 239 pp.

Lyell, Charles, 1836, Geol. Soc. London, Pr., vol. 2, no. 44, pp. 357–361.

McAdam, J. L., 1827, Remarks on the present system of road making, 9th ed.: London, Longman, Hurst, Rees, Orme, and Brown, 236 pp.

Peach, B. N., 1930, The Lochaber water power scheme and its geological aspects: Water and Water Eng. (London), vol. 32, p. 71.

Penning, W. H., 1880, Engineering geology: London, Balliére, Tindall and Cox, 164 pp.

Penrose, R. A. F., Jr., 1921, The relations of economic geology to the general principles of geology: Econ. Geol., vol. 16, pp. 48–51.

Phillips, J., 1844, Memoirs of William Smith, LL.D.: London, John Murray, 150 pp.

Rolt, L. T. C., 1961, Isambard Kingdom Brunel: London, Arrow Books, 383 pp.

Rosenau, J. C., 1958, Geology of the Mackinac Bridge site, Michigan: Geol. Soc. Am., Abs., vol. 69, Ann. Mtg., St. Louis, p. 1636.

Singer, C., 1959, A short history of scientific ideas to 1900: Oxford, Clarendon Press, 525 pp.

Smeaton, J., 1791, A narrative of the building and a description of the construction of the Edystone lighthouse with stone . . .: London, H. Hughs, sold by G. Nicol, 198 pp.

Southey, R., 1929, Journal of a tour in Scotland in 1819: London, John Murray, 276 pp.

Vitruvius, 1914, The Ten Books of Architecture (trans. by M. H. Morgan): Cambridge, Harvard University Press, 331 pp.

West Texas Geological Society, 1958, Geological road log, Del Rio to El Paso: Midland, West Texas Geol. Soc., 48 pp.

CLAUDE C. ALBRITTON, Jr.

Southern Methodist University

Filosofía de la Geología: Una Bibliografía e Indice Selectos[1]

Esta bibliografía contiene referencias de unos cuatrocientos escritos los cuales reflejan el alcance, los métodos y las contribuciones de las ciencias geológicas. La colección no es amplia ni sus selecciones uniformemente equilibradas en relación a sus orígenes profesionales, o en distribución geográfica, o a sus años de publicación.

Debido a que el principal esfuerzo que aquí se desplegará será para identificar todo lo viviente y no para los problemas de los fósiles, he sacado a la luz más de la mitad de los artículos de los trabajos publicados desde 1949. Una ponderación geográfica a favor de las publicaciones estadounidenses —un poco más de la mitad de toda la lista— se ha hecho sin intención. Con más tiempo y con un continuado acceso a los traductores competentes de las lenguas del oriente de Europa y de las escandinavas, podría haberse alcanzado un mejor equilibrio geográfico. He hecho un esfuerzo especial para aprender cómo observan la geología las personas que no son geólogos. En consecuencia, una cuarta parte de las referencias hacen alusión a trabajos de historiadores, de filósofos, de matemáticos, de físicos, de astrofísicos, de biólogos, de bibliógrafos y de lingüistas.

El índice al final de este trabajo revela ciertos grados de interés en diferentes problemas y materias. Como podría esperarse, se centran tres áreas de discusión vigorosa acerca de los conceptos de tiempo, de cambio y de la clasificación de los fenómenos naturales.

Hutton, como un autor admirable, reclama haber *descubierto* el tiempo. Sea lo que fuere, la ciencia que fundó parece diferir de

[1] Preparado con la ayuda de National Science Foundation Grant G-23887.

las otras por su interés en los cambios que han ocurrido a través de lapsos enormes. Debido a que a la historia también le interesan las sucesiones temporales de acontecimientos, la geología se ha llegado a conocer como una ciencia histórica. Por esta razón, uno se pregunta cuándo los historiadores y los geólogos históricos utilizan los mismos métodos básicos. No, dicen los historiógrafos quienes insisten que lo único que puede llamarse historia con propiedad es la historia humana y que en el orden que se sigue para escribirla, uno debe revivir en la imaginación las cosas que realmente sucedieron a los seres humanos en el pasado. Sí, contestan algunos filósofos quienes sostienen que la explicación de lo que ha sucedido, recientemente o en el pasado remoto, requiere la formulación y el uso de leyes. Sin embargo, esta discusión particular puede ser resuelta exhortando a los geólogos históricos a que aclaren sus explicaciones y a que demuestren que si utilizan cualquiera de ellas, es porque están elaboradas con leyes.

"El presente es la llave del pasado", decimos. El principio de la uniformidad, al cual se refiere este adagio, es considerado por muchos como la piedra angular de la geología. Con relación a la validez del principio, sin embargo, la variación de opiniones es asombrosa. Mayor número de historiadores modernos de la ciencia parecen estar de acuerdo en que el famoso principio de Lyell fue un recurso histórico que fue descartado después de que el evolucionismo se popularizó en el siglo XIX. Los más modernos filósofos de la ciencia parecen sentir que el principio es demasiado vago como para prestar alguna utilidad o que es una proposición incierta e innecesaria. Los geólogos y otros científicos tienen opiniones tan variadas sobre este tema que sería imposible decir sin una votación, cuál opinión prevalece. Sin duda, el principio de la uniformidad necesita de la atención crítica de los geólogos. ¿Acaso no es más que una prescripción para razonar por analogía? ¿Se reducirá hasta el principio de la simplicidad al aplicarse a los agentes de los cambios geológicos? Y si es así, ¿con cuál de las muchas variedades de simplicidad debe ser igualado?

Ya Simpson lo dijo, toda la ciencia teórica está ordenada. Muchos de los trabajos citados en la bibliografía tratan de la clasificación y orden de los fenómenos naturales. De antemano se admite que las cosas estudiadas por geólogos y paleontólogos son difíciles de clasificar. Minerales, rocas y fluidos naturales raramente ocurren en un estado puro e ideal. La superficie de la Tierra es tan irregular, tanto morfológica como tectónicamente, que es difícil idear clasificaciones de formas terrestres o de estructuras geológicas que puedan aplicarse a todos los terrenos. Las unidades estratigráficas muy raras veces presentan separaciones evidentes y es difícil nombrarlas y agruparlas en una forma con la que revelarán sus relaciones en el espacio y sus sucesiones en el tiempo. Al clasificar los fósiles, el paleontólogo debe contender con las imperfecciones del registro fósil así como con las influencias variables de los cambios en el ambiente y del progreso evolutivo.

La mayor parte de esta bibliografía fue reunida durante el verano de 1962, lo cual explicará por qué no están incluidas ciertas publicaciones de fechas más recientes. El registro de los títulos comenzó con un examen cuidadoso de los índices de todas las ediciones de la "Bibliography and Index of North American Geology" (1732-1959) y de la "Bibliography and Index of Geology Exclusive of North America" (1933-1960). La búsqueda continuó con los catálogos de la "Philosophy of Science", de la "British Journal for the Philosophy of Science" y de la "Zentralblatt für Geologie und Paläontologie". "Isis", con sus bibliografías anuales para la historia de la ciencia, ha proporcionado material adicional. El servicio de tarjetas bibliográficas del *Service d'Information Géologique du Bureau de Recherches Géologiques et Minières* condujo a que se publicaran muchos artículos en revistas rusas desde 1960.

Deseo agradecer la diligencia por la cual fue posible hacer este trabajo, a las personas que intervinieron hasta su terminación. El permiso que me otorgó la National Science Foundation, permitió que concentrara mi esfuerzo en el proyecto durante tres meses. A la señora Wheeler por su gran ayuda en el registro de los títulos y por hacer el índice. La señora Natalie Voshinin también ayudó en el registro y tradujo los artículos rusos. A la señora Nadine George, de la Reference Librarian of the Science Information Center en Dallas, le estoy muy reconocido por su esfuerzo paciente y fructífero para localizar materiales inaccesibles.

Muchos amigos personales han llamado mi atención hacia referencias pertinentes que han encontrado en sus propias lecturas. El doctor Arthur F. Hagner con toda benevolencia me ha enviado una larga bibliografía de la filosofía de la geología que él ha preparado para sus estudiantes avanzados de la Universidad de Illinois. La señorita Marie Siegrist también me ha llamado la atención sobre las referencias que están por aparecer en ediciones futuras de la "Bibliography of Geology Exclusive of North America". El señor Charles Gotschalk, jefe de la Stack and Reader Division of the Library of

BIBLIOTECA MUNICIPAL MUNILO MEIRA
JUIZ DE FORA - M.G.

Congress me suministró una oficina particular durante un mes de estudio en Washington. La señora Jacquelyn Newbury mecanografió el original y me ayudó en la corrección de pruebas. Aunque estoy sumamente agradecido a todos estas personas, debo aclarar, en bien de ellas, que yo soy el único responsable de la selección y anotación de títulos, del diseño del índice y con respecto a cualquier error.

Bibliografía

American Commission on Stratigraphic Nomenclature, 1961, Code of stratigraphic nomenclature: Am. Assoc. Petroleum Geol., B., vol. 45, no. 5, pp. 645-665. Define y diferencia las unidades litoestratigráficas, edafoestratigráficas, bioestratigráficas, cronoestratigráficas, geológico-cronológicas y geológico-climáticas.

Amstutz, Gerhardt Christian, 1960, Some basic concepts and thoughts on the space-time analysis of rocks and mineral deposits in orogenic belts: Geol. Rundschau, vol. 50, pp. 165-189. "El descubrimiento, la prueba y la aceptación de la evolución de la vida, fue sólo una victoria del principio de la endogénesis sobre 'la alta superstición' que perseveraba ... hacia la exogénesis. La separación gradual de la ciencia desde los conceptos alquimistas, es esencialmente evolutiva desde la exo- hacia la endo-génesis y de la epi- hacia la sin-génesis ..."

Anderson, Charles Alfred, 1951, Older Precambrian structure in Arizona: Geol. Soc. Am., B., vol. 62, no. 11, pp. 1331-1346. En la página 1346 se encuentra una aplicación explícita del principio de la simplicidad a la historia tectónica. "Hasta que no se hagan correlaciones más precisas de las rocas más antiguas del Precámbrico, en Arizona, ... la explicación más simple es que solamente ha ocurrido ... un periodo orogénico en Arizona durante el principio del Precámbrico."

Andrée, Karl Erich, 1938, Rezente und fossile Sedimente; Erdgeschichte mit oder ohne Aktualitätslehre?: Geol. Rundschau, vol. 29, no. 3–5, pp. 147–167. "Die Erdgeschichte ... die auch für den Aktualitätsanhänger ... den Kern geologischer Forschung bildet, vermag der Aktualitätslehre nich zu entraten, ohne überhaupt den Boden unter den Füssen zu verlieren, auf dem sie aufbaut."

Andrews, Ernest Clayton, 1936, Some major problems in structural geology: Linnean Soc. New South Wales, Pr., vol. 63, pts. 1–2, no. 275–276, pp. iv–xl. "El investigador tipo Newton y tipo Darwin busca una explicación simple de un fenómeno natural; sabe que hay muchas formas, por medio de las cuales pudo haber sido causada, imaginariamente una forma, como una cordillera montañosa, mientras que, en realidad, fue producida de una sola manera ..."

Aprodov, V. A., 1961, Osnovnyje cherty filosofskago materializma v geologicheskikh rabotakh M. V. Lomonosova (Basic features of philosophical materialism in the geologic works of M. V. Lomonosov): Sovet. Geol., no. 12, pp. 3–13. La formulación de Lomonosov de un método materialista de investigación científica fue como sigue: a través de las observaciones se forma una teoría; a través de la teoría las observaciones se comprueban.

BIBLIOTECA MUNICIPAL MUNILO MENDES
JUIZ DE FORA - M.G.

ARKELL, WILLIAM JOSCELYN, 1956, Species and species: Systematics Assoc., London, Pub. no. 2, pp. 97–99. Del mismo modo como lo conciben los paleontólogos, las especies y los géneros son "categorías puramente artificiales y subjetivas ... De esta manera el único criterio lógico para el tamaño y definición del taxon en la paleontología es su utilidad".

2—1956, Comments on stratigraphic procedure and terminology: Am. J. Sci., vol. 254, no. 8, pp. 457–467. "En un procedimiento estratigráfico, lo que interesa no son los términos que usa un autor de esa materia, sino que sepa lo que está diciendo. Si lo sabe, no será ambiguo a pesar de que los términos que emplee sean pocos y simples; pero si ocurre lo contrario, mientras más técnicos sean los términos que utilice, mayor será el peligro de caer en la confusión y en el error.

BACKLUND, HELGE G., 1941, Zum Aktualitätsprinzip: Geol. Rundschau, vol. 32, no. 3, pp. 394–397.

BAKER, HOWARD BIGELOW, 1938, Inductive logic and Lyellian uniformitarianism: Michigan Acad. Sci., Sect. Geol. and Miner., pp. 1–5. "En el proceso inductivo mientras más hipótesis haya tanto mejor ... Contrario a esta esencia .. la doctrina del uniformismo conduce a la pobreza donde son deseadas las riquezas."

BARGHOORN, ELSO STERRENBERG, JR., 1953, Evidence of climatic change in the geologic record of plant life, Chapter 20, pp. 235–238 *in* Harlow Shapley, ed., Climatic change; evidence, causes, and effects: Cambridge, Harvard Univ. Press. ix and 318 pp. "Hay dos proposiciones básicas para la interpretación paleobotánica de la historia climática. La primera se refiere a que los grupos de plantas del pasado tuvieron necesidades ambientales similares a las que poseen actualmente ... La segunda ... es aquella en la que un complejo ambiental de clima definible y otras condiciones físicas sostiene una población biótica la cual está en un equilibrio general con estas condiciones ..."

BARKER, STEPHEN F., 1961, The role of simplicity in explanation, pp. 265–274 *in* Herbert Feigl and Grover Maxwell, eds., Current issues in the philosophy of science: New York, Holt, Rinehart, and Winston, 484 pp. La idea de la explicación lógica-empírica, "exagera la correlación entre la predicción y la explicación, ... exagera el contraste entre los términos teórico y observacional en la ciencia, y ... por descuido del factor de la simplicidad no da una relación real de lo que ella es para que una explicación resulte mejor que otra".

2—1961, On simplicity in empirical hypotheses: Philosophy of Science, vol. 28, no. 2, pp. 162–171. "... la hipótesis que dice que ... los fósiles son realmente restos de organismos primitivos es mejor que la que lo niega y afirma que fueron creados recientemente. La primera es mejor que la segunda no a causa de que ajusta mejor los hechos o hace posible que se obtengan más predicciones; es mejor porque sencillamente es más simple".

BARRELL, JOSEPH, 1917, Rhythms and the measurement of geologic time: Geol. Soc. Am., B., vol. 28, pp. 745–904. "La doctrina del uniformismo ha ignorado la presencia de los ritmos de edad prolongada y cuando eran inoportunos ha procurado eliminarlos, aunque al hacerlo se hayan reducido al mínimo las diferencias entre el presente y el pasado y las variaciones constantes dentro del pasado. Esta doctrina debe juzgarse sólo como aquella que proporciona un comienzo para la investigación."

BARTH, THOMAS FREDRIK WEIBY, 1952, Theoretical petrology: New York, John Wiley; London, Chapman and Hall, Ltd., viii and 387 pp. "Ahora que los métodos experimentales han conducido a la síntesis de los minerales y de las rocas y a la determinación de sus constantes termodinámicas, la petrología se ha convertido en la fisicoquímica aplicada a la corteza terrestre."

BAULIG, HENRI, 1938, Questions de terminologie. I.—Conséquent, subséquent, obséquent; ou cataclinal, monoclinal, anaclinal?: J. Geomorphology, vol. 1, no. 3, pp. 224–229. "... uno nunca debe perder de vista el hecho de que los esquemas teóricos implican hipótesis y que la terminología genética apropiada es aplicable sólo en la extensión que permite demostrar que dichas hipótesis son correctas o que, además, son admitidas explícitamente como base de una discusión. De otra manera es mejor emplear términos puramente descriptivos."

2—1949, Causalité et finalité en géomorphologie: Geog. Ann., Stockholm, vol. 31, no. 1–4, pp. 321–324. Las explicaciones geomórficas son exageradas, a menudo, por el antropomorfismo —una atribución implícita de motivos y aspiraciones para los agentes mecánicos de la erosión y de la depositación.

3—1950, William Morris Davis: master of method: Assoc. Am. Geographers, Annals, vol. 40, no. 3, pp. 188–195. "El método general de Davis, como todas las inferencias geológicas hechas del presente al pasado, sufre, de hecho, una clase de debilidad congénita: para un término del argumento analogista, es decir, el presente, no puede tomarse para representar la condición 'normal' de la Tierra."

BECKER, CARL LOTUS, 1932, The heavenly city of the eighteenth-century philosophers: New Haven, Yale Univ. Press, Yale Paperbound Y-5, 168 pp. "Gran parte de lo que se llama ciencia, es convenientemente llamada historia, la historia de los fenómenos biológicos o físicos. El geólogo nos da la historia de la Tierra; el botánico nos relata la historia de la vida de las plantas ... No podemos saber en forma debida cómo son las cosas a menos que sepamos 'cómo llegaron a ser lo que son' ... La tendencia histórica es una idea preconcebida del pensamiento moderno en una forma tal, que podemos identificar una cosa particular tan sólo con señalar los estados sucesivos por los que pasó hasta convertirse en lo que es y que pronto cesará de ser."

BECKNER, MORTON, 1959, The biological way of thought: New York, Columbia Univ. Press, viii y 200 pp. "Los científicos probablemente son los que cuentan con más recursos para llevar a cabo la explicación histórica ... cuando los fenómenos actuales parecen explicables en función de una sucesión temporal de acontecimientos pasados."

BELL, WILLIAM CHARLES, 1959, Uniformitarianism—or uniformity: Am. Assoc. Petroleum Geol., B., vol. 43, No.12, pp. 2862-2865. "Paradójicamente, aunque alabamos el conocimiento de las facies isócronas aunque diferentes cuando escribimos en forma teórica, en la práctica muchos de nuestros argumentos son periféricos hasta la explicación casi axiomática que implica similarmente el isocronismo—y mientras más grande es la similitud cuanto más probable es la identidad en la edad."

BELOUSOV, V. V., 1938, "Teoriya zemli" Dzhemsa Gettona (James Hutton's

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES

"Theory of the Earth"); Istoriya i Filosofiya Estestvoznaniya, no. 7–8, pp. 156–162. Hutton estableció dos proposiciones generales que son importantes para la filosofía de la geología: (1) al reconstruir el pasado podemos ver y anticipar los resultados de los cambios aunque no vemos ni el comienzo ni el fin de los procesos que los causaron y (2) el tiempo geológico es muy vasto en función de las perspectivas humanas ordinarias.

BEMMELEN, REINOUT WILLEM VAN, 1959, Die Methode in der Geologie: Geol. Ges. Wien, Mitt., vol. 53, pp. 35–52. "Unser irdisches System geochemischer Prozesse ist nicht eine endlose Verflechtung wiederkehrender Kreisläufe ... Es ist ein Teil einer kosmichen Evolution mit gerichtetem Ablauf ..."

2—1961, The scientific character of geology: J. Geol., vol. 69, no. 4, pp. 453–463. La geología es esencialmente una ciencia histórica y difiere de la física, de la química y de la biología en que son limitadas sus posibilidades para experimentar. El principio de la uniformidad y el método de la ontología comparativa son ejemplos de reglas seguidas en la práctica geológica pero las premisas inherentes a ellas no están fundamentadas tan firmemente como lo están las leyes naturales de la física y de la química. De esta manera el geólogo debe recurrir al método de las hipótesis de trabajo múltiples para probar el mayor número de conjeturas.

BERINGER, CARL CHRISTOPH, 1954, Geschichte der Geologie und des geologischen Weltbildes: Stuttgart, Ferdinand Enke, 158 pp.

BERKEY, CHARLES PETER, 1933, Recent development of geology as an applied science: Am. Phil. Soc., Pr., vol. 72, no. 1, pp. 25–37.

BERRY, EDWARD WILBER, 1925, On correlation: Geol. Soc. Am., B., vol. 36, no. 1, pp. 263–277. "A pesar de todo lo que se diga de ellas, aún se considera que las clasificaciones son convenientes para las referencias y medios de cambio y los límites cronológicos son tan artificiales como muchos de los límites políticos y mucho más subjetivos."

2—1929, Shall we return to cataclysmal geology?: Am. J. Sci., 5th ser., vol. 17, pp. 1–12. "Se ha escrito sin ningún sentido sobre algunos de los llamados criterios últimos para la correlación, que muchos tienen la confianza o el interés de creer que el interior de nuestra Tierra gobierna la historia de su superficie con una periodicidad semejante al reloj de la destrucción y que cuando suena la hora fatal los estratos son plegados y elevados en montañas, los mares epicontinentales se retiran, los continentes se deslizan de una parte a otra, los habitantes terrestres y marinos son muertos y sepultados y una nueva era es inaugurada."

BÉTHUNE, PIERRE DE, 1953, Le cycle d'érosion: Rev. Questions Sci., an. 66, vol. 124 (s. 5, vol. 14) f. 3, pp. 321–346. "... la théorie si féconde des cycles d'érosion ne constitue qu' une première approximation, et ... seules de patientes recherches comparatives permettront d'édifier la théorie générale ..."

2—1957, Un demi-siècle de géomorphologie davisienne: Rev. Questions Sci., an. 69, vol. 128 (s. 5, vol. 18) f. 1, pp. 100–111. "La faiblesse congénitale du davisianisme est dans cette méthode *a priori*, 'deductive', de son raisonnement. Nonobstant tout ce que les davisiens ont pu écrire à ce sujet, la vraie méthode de la géomorphologie ... est *l'induction*."

BEURLEN, KARL, 1935, Der Aktualismus in der Geologie, eine Klarstellung: Zbl. Miner., 1935, Abt. B., no. 12, pp. 520–525. "Der stärkste und nachhaltigste Verstoss gegen den Dogmatismus in der Geologie war die Einführung der aktualistischen Methode. ... Wenn diese Methode dann allerdings zu einem Forschungsprinzip gemach wurde ... so war das allerdings eine unzulässige Verallgemeinerung und Umwertung der Methode zu einem Dogma ... Dadurch machte sich der Aktualismus selbst dessen schuldig, was er zunächst bekämpfte."

2—1935—1936, Zur Kritik des Aktualismus; I. Bedeutung und Aufgabe geologischer Forschung; II. Das Klima des Diluviums; III. (with S. Thiele) Das Experiment in der Tektonik und seine Bedeutung in der Geologie: Zs. gesamte Naturw., vol. 1, pp. 23–36, 209–220; vol. 2, pp. 49–61.

BILLINGS, MARLAND PRATT, 1950, Stratigraphy and the study of metamorphic rocks: Geol. Soc. Am., B., vol. 61, no. 5, pp. 435–448. Al atacar los problemas de campo, incluyendo aquellos que implican los de los terrenos metamórficos, deben resolverse simultáneamente la estratigrafía y la estructura.

BLACKWELDER, ELIOT, 1909, The valuation of unconformities: J. Geol., vol. 17, pp. 289-299. "Todo el registro geológico... no debe concebirse como una pila de estratos, sino como una columna denticulada de cuñas en donde las discordancias y los sistemas de rocas se combinan en proporciones variables. Las primeras predominan en algunos lugares y periodos, mientas que los últimos prevalecen en otros."

BLAKE, RALPH M., DUCASSE, CURT J., and MADDEN, EDWARD H., 1960, Theories of scientific method; the Renaissance through the nineteenth century: Seattle, University of Washington Press, iv and 346 pp. Críticas al principio de la uniformidad de la naturaleza al tratarse en los escritos de Newton, Hume, Herschel, Mill y Jevons.

BLANC, ALBERTO CARLO, 1951, Cosmolyse et épistémologie non-cartésienne, *in* Sciences de la terre, XXI Cong. Internat. Phil. Sci., Paris, 1949: Paris, Hermann, pp. 105-122. Las floras y faunas características (incluyendo las razas humanas especializadas de las llamadas 'culturas primitivas'), así como las simplificadas derivadas de entidades originalmente más complejas, son análogas al átomo de hidrógeno, el cual, de acuerdo con las ideas de la física moderna, es un producto final simplificado en la evolución de la materia cósmica.

BLISS, HENRY EVELYN, 1952, A bibliographic classification: New York, H. W. Wilson, 2 vols. La astronomía, la geología, la geografía y la meteorología son ciencias naturales especiales que combinan temas concretos y descriptivos con los componentes teóricos derivados y dependientes de la física y de la química.

BONDI, HERMANN, 1959, Science and structure of the universe: Manchester Lit. and Phil. Soc., Mem. and Proc., vol. 101 (1958-1959), pp. 58-71. "Tengo la sospecha (aun cuando no es más que eso) de que el enunciado de la uniformidad tiene sentido en un universo como el que hemos creado, el cual, aunque es de una extensión infinita, es efectivamente finito debido a las velocidades de retrocesión... La suposición [de la uniformidad] de ninguna manera es clara en su significado aunque empíricamente parece ser lo más fecundo que hayamos hecho."

2—1961, Cosmology: Cambridge Monographs on Physics, Cambridge Univ. Press, 182 pp. "...en nuestra física hemos supuesto de antemano cierta uniformidad de espacio y de tiempo; hemos supuesto que vivimos en un mundo que es homogéneo al menos hasta donde son implicadas las leyes de la naturaleza. Entonces, el axioma fundamental de nuestra física formula ciertas demandas sobre la estructura del universo, es decir, requiere una uniformidad cosmológica."

BRADLEY, WILMOT HYDE, 1948, Limnology and the Eocene lakes of the Rocky Mountain region: Geol. Soc. Am., B., vol. 59, no. 7, pp. 635-648. "Sin embargo, ¿cuál es el tema central peculiar de la ciencia geológica, la parte medular que no se deriva de ninguna de las ciencias hermanas? Quizá usted estará de acuerdo en que es la historia y constitución de la Tierra."

BRETSKY, PETER WILLIAM, JR., 1962, Barker on simplicity in historical geology: Dallas, Southern Methodist Univ. Press, J. Graduate Research Center, vol. 30, no. 1 pp. 45-47. "Si el uniformismo lyelliano... fuera un tipo de simplicidad notacional, ¿no se convertiría entonces en algo trivial?"

BRIDGMAN, PERCY WILLIAMS, 1959, The way things are: Cambridge, Harvard Univ. Press, x and 333 pp. La Navaja de Ocamm "me interesa como un principio intelectual fundamental... En mi opinión no sé qué justificación lógica pueda ofrecerse para el mismo. Me parece que puede satisfacer un instinto arraigado profundamente en una magnífica destreza intelectual. Quizá una de las más apremiantes razones para adoptarlo es que con ello se proporcionan al futuro tan pocas cosas como sea posible, reteniéndose la flexibilidad máxima para tratar con hechos o ideas no anticipados."

BROGGI, JORGE ALBERTO, 1935, Los dominios de la geología: Bol. Minas, Ind. y Constr. (Lima, Perú) s. 3, vol. 7, pp. 13-18. "El tiempo actual en historia, es un elemento de su constitución futura; en geología es la base de las investigaciones sobre el pasado."

BROOM, ROBERT, 1932, Evolution as the paleontologist sees it: South African J. Sci., vol. 29, pp. 54-71. "Puesto que la evolución ha finalizado prácticamente y no puede ser repetida a menos que se haga desaparecer la vida superior en la Tierra y se inicie un verdadero comienzo, quizá podamos concluir que el hombre es el fin al que ha sido guiada la evolución por algún poder."

BROUWER, AART, 1957, On the principles of Pleistocene chronology: Geol. en Mijnbouw (n.s.) vol. 19, pp. 62-68. "¿Cuál es la razón que ha inducido a los geólogos a adoptar a la paleontología como la base de la geocronología? Por supuesto no es su confiabilidad."

BROWN, BAHNGRELL WALTER, 1959, Preliminary study of stochastic terms used in geology: Geol. Soc. Am., B., vol. 70, no. 5, pp. 651-654. Puede obtenerse una mayor precisión en la literatura geológica si los valores definidos de las variaciones de probabilidad fueran destinados a las siguientes palabras que expresan verosimilitud: imposiblemente, improbablemente, igualmente probable, probablemente, indudablemente y posiblemente.

2—1961, Stochastic variables of geologic search and decisión: Geol. Soc. Am., B., vol. 72, no. 11, pp. 1675-1685. Demuestra que ciertos problemas de la investigación y decisión geológicas deben ser tratados estocásticamente.

BRYAN, KIRK, 1950, The place of geomorphology in the geographic sciences: Assoc. Am. Geographers Annals, vol. 40, no. 3, pp. 196-208. "La aplicación principal y la más natural del estudio geomórfico es para la historia de la Tierra."

BUBNOFF, SERGE VON, 1937, Die historische Betrachtungsweise in der Geologie: Geistige Arbeit, Berlin, vol. 4, no. 13, pp. 1–3. "Aktualismus bedeutet nicht, dass alles immer ebenso war wie heute, sondern dass Reaktionen (physikalische und biologische) derselben Grössenordnung von Raum und Zeit unter gleichen Voraussetzungen gleich verlaufen."

2—(Hans Cloos and Georg Wagner), 1943, Warum Geologie?: Beitr. Geol. Thüringen, vol. 7, no. 4–5, pp. 191–204. "Diese Verknüpfung naturwissenschaftlicher und historischer Denkungs- und Untersuchungsart und diese Lebensnähe und 'Bodenständigkeit' lassen die Geologie für die Schule daher besonders wichtig und notwendig erscheinen..."

3—1954, Grundprobleme der Geologie, 3rd ed.: Berlin, Akademie-Verlag, vii and 234 pp. "Die Grundfragen, welche dazu formuliert werden müssen, wären etwa: Was ist unsere Wissenschaft, welche Wege verfolgt sie, welche Fehler sind in ihrem methodischen Aufbau möglich, was sind ihre Endzielle?"

BUCHER, WALTER HERMANN, 1936, The concept of natural law in geology: Ohio J. Sci., vol. 36, no. 4, pp. 183-194. "La geología es doblemente singular en sus propósitos: por un lado le concierne aquello que sucedió *una vez* en *cierto lugar*, en minas individuales, montañas, regiones. El interés que centra en los individuos es *historia* no ciencia. Como *ciencia*, a la geología le interesan las expresiones que considera *típicas* en las *generalizaciones*, ya sea que se llamen leyes o algo más."

2—1941, The nature of geological inquiry and the training required for it: Am. Inst. Min. Met. Eng., Tech. Pub. 1377, 6 pp. "Los procesos 'geológicos' típicos no pueden estudiarse directamente por los métodos de laboratorio sino solamente en forma indirecta por medio de sus resultados; esto es, por los métodos de las ciencias históricas... la mayor parte de todo el trabajo geológico no está interesado primordialmente con el conocimiento de "lo eterno" sino con la realidad concreta del 'límite del tiempo'. No trata con criaderos de minerales sino con este criadero mineral; no con los valles en general sino con este valle."

3—1957, The deformation of the earth's crust; and inductive approach to the problems of diastrophism: New York, Hafner, xii and 518 pp. Se han formulado 46 leyes en relación al diastrofismo.

BÜLOW, KURD VON, 1943, Geschichte und Zukunft der Formationstabelle: Neues Jb. Miner., Geol., u. Paläont., 1943, Abt. B., no. 5, pp. 116–130. "So entstand die Tabelle nicht eigentlich als Gliederung, Einteilung eines Ganzen, sondern dieses Ganze wurde erst durch die stratigraphische Kleinarbeit gefügt."

2—1960, Der Weg des Aktualismus in England, Frankreich und Deutschland: Geol. Ges. Deut. Dem. Rep., Ber., vol. 5, no. 3, pp. 160–174. El actualismo se ha interpretado de dos maneras diferentes: como a una presuposición a la que le concierne el firme curso de la naturaleza, y como un método para aplicar la experiencia del presente a la reconstrucción del pasado. La tendencia entre los geólogos de esta época es aceptar el actualismo como un método útil más que como un artículo de fe.

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES

BUNGE, MARIO AUGUSTO, 1961, The weight of simplicity in the construction and assaying of scientific theories: Philosophy of Science, vol. 28, No. 2, pp. 120–149. "Las teorías históricas —como aquellas de la geología de la evolución y de la sociedad humana— tienen un alto poder explicatorio aunque es pequeño para la predicción, aun contando las retrodicciones."

CAILLEUX, ANDRÉ, and TRICART, JEAN, 1961, Idéalisme, matérialisme et accélération: Rev. Géomorph. Dynamique, vol. 12, no. 1, pp. 1-2. Una defensa del materialismo, en el sentido de una aproximación empírica a los problemas geológicos.

CAMP, CHARLES LEWIS, 1952, Geological boundaries in relation to faunal changes and diastrophism: J. Paleont., vol. 26, no. 3, pp. 353-358. "Casi nada puede ocurrirles a nuestros hechos, aunque reuniéndolos se erigen... sistemas de clasificación biológica y establecimiento de fechas de edades geológicas en un ambiente de pugna sin fin. En espera de posibles afinamientos en el establecimiento de fechas de edades absolutas, estamos a menudo obligados a ajustar y reunir los hechos y a dejar a la zaga los límites de edad de la escala del tiempo geológico —al fin que los límites y los hechos no siempre coinciden."

CANNON, WALTER F., 1960, The uniformitarian-catastrophist debate: Isis, vol. 51, pt. 1, no. 163, pp. 38-55. "...A pesar de que Darwin estaba profundamente reconocido a Charles Lyell por el método que explica los grandes cambios por la suma de los cambios pequeños sobre inmensos espacios de tiempo, no aceptó, sin embargo, el pricipio general de la uniformidad que relata la historia de la naturaleza. La evolución por medio de la selección natural implica la aceptación de la idea de un desarrollo acumulativo especial que se demuestra por la evidencia geológica y biológica —y justamente es ésta la idea que el uniformismo ha negado consistentemente."

2—1960, The problem of miracles in the 1830's: Victorian Studies, vol. 4, no. 1, pp. 5–32. "Con su insistencia obstinada sobre la naturaleza histórica del cosmos... los Catastrofistas forzaron una especulación opuesta a la posición sin progreso de Lyell y mantuvieron una perspectiva evolucionista del mundo viviente, de tal manera que hoy por lo general describimos la historia del mundo como la vio Whewell (pero sin sus milagros) y no como la vio Lyell".

3—1961, John Herschel and the idea of science: J. History of Ideas, vol. 22, no. 2, pp. 215–239. "Al hombre moderno podría parecerle que la geología es necesariamente una ciencia 'histórica', aunque el Uniformismo pretendió hacerla 'no histórica', lo cual equivale a no reconocerle un carácter evolutivo hasta donde sea posible. Los *Principles of Geology* de Lyell fueron la última gran codificación de una cosmografía no evolucionista."

4—1961, The impact of uniformitarianism; two letters, from John Herschel to Charles Lyell, 1836–1837: Am. Phil. Soc., Pr., vol. 105, no. 3, pp. 301–314. Fue incorrecta la creencia de Herschel de que el debate Uniformista-Catastrofista tenía una base de poca importancia, "puesto que la opinión uniformista contra la evolución del mundo era antitética en relación a la insistencia catastrofista de un mundo que evolucionó geológicamente a partir de un caos primitivo".

CARNAP, RUDOLF, 1955, Logical foundations of the unity of science: Chicago, Univ. Chicago Press, Int. Encyc. Unified Sci., vol. 1, pts. 1–5, pp. 42–62. "Tomemos a la 'física' como un nombre común para el campo no biológico de la ciencia, la cual comprende investigaciones sistemáticas e históricas dentro de este campo, incluyéndose de esta manera la química, la mineralogía, la astronomía, la geología (que es histórica), la meteorología, etc."

CASSIRER, ERNST, 1953, An essay on man; an introduction to a philosophy of human culture: Garden City, N.Y., Doubleday, 294 pp. La misma estructura lógica caracteriza al pensamiento histórico del historiador, del geólogo y del paleontólogo, aunque el historiador tiene la única tarea de interpretar el contenido simbólico de los documentos y monumentos humanos. (Véase el Cap. 10, *Historia*.)

CAYEUX, LUCIEN, 1941, Causes anciennes et causes actuelles en géologie: Paris, Masson, 79 pp. "Il est nécessaire de réserver une place à des Causes anciennes, à côté des Causes actuelles, dans l'étude des formations sédimentaires de l'écorce terrestre, si l'on veut faire appel à toutes les lumières, susceptibles de nous en donner l'intelligence."

CHAMBERLIN, THOMAS CHROWDER, 1897, The Method of multiple working hypotheses: J. Geol., vol. 5, pp. 837–848. "Al desarrollar las hipótesis múltiples es necesario tener presente toda explicación racional del fenómeno que se trata y desarrollar toda hipótesis sostenible relativa a su naturaleza, causa u origen y darles tan imparcialmente como sea posible una forma de trabajo y un lugar debido en la investigación."

2—1898, The ulterior basis of time divisions and the classification of geologic history: J. Geol., vol. 6, pp. 449–462. "El problema más vital para el geólogo general actual es la cuestión dónde la historia de la Tierra se divide en forma natural en fases periódicas de aceptación universal o dónde no es sino un agregado de acontecimientos locales que dependen de condiciones locales y no controladas por agentes dominantes de ascendiente universal."

3—1904, The methods of the earth sciences: Pop. Sci. Monthly, vol. 66, pp. 66–75. "En algún sentido las ciencias terrestres están obligadas a comprender lo esencial de todas las ciencias. Al menos, como cualquier científico, debemos estar interesados en las suposiciones fundamentales de todas las ciencias y en su aplicación consistente."

4—1907, Editorial: J. Geol., vol. 15, pp. 817–819. "El proyecto más barato para la preparación de la exhibición más grande de los quasirresultados en el aspecto técnico, con la mínima inversión del capital científico conocido de nuestra profesión es aquel que descubre que pueden darse nuevos nombres a las formaciones conocidas."

CHORLEY, RICHARD J., 1957, Illustrating the laws of morphometry: Geol. Mag., vol. 94, no. 2, pp. 140–150. "Aquí se ilustran las leyes de la morfometría de tres regiones de terrenos de arenisca en la etapa de la madurez que carecen de un grueso control estructural diferencial, en el que se descubre que las relaciones uniformes y sin dimensiones determinadas mantienen su geometría."

CLARKE, JOHN MASON, 1917, The philosophy of geology and the order of the state: Geol. Soc. Am., B., vol. 28, pp. 235–248. "La naturaleza crea para

el individuo... las hormigas son de la naturaleza... la más alta ejecución en el esfuerzo común y el hecho más notable en cooperativa."

CLEMENTS, FREDERIC EDWARD, and SHELFORD, VICTOR E., 1939, Bio-ecology: New York, John Wiley, vii and 425 pp. "...la llave al pasado es ideada por el presente para utilizar estos términos en su significado cotidiano. Por otro lado, el presente es el solar que se hereda al pasado y no es posible entenderlo adecuadamente sin trazar la continuidad de los procesos evolutivos de uno al otro."

CLEUGH, MARY FRANCES, 1937, Time and its importance in modern thought: London, Methuen, viii and 308 pp. "'El Pasado' es una entidad curiosa. Aunque inalterable... tiene, sin embargo, un hábito peculiar de crecimiento. El posible, el general, el abstracto: todos están sujetos a las determinaciones lógicas —pero... cuando pasamos de la posibilidad a la realidad, cuando llegamos a los acontecimientos que han sucedido en el tiempo, hemos abandonado el dominio ideal de la lógica y hemos introducido una contingencia radical en el universo."

CLOUD, PRESTON ERCELLE, JR., 1959, Paleoecology–retrospect and prospect: J. Paleont., vol. 33, no. 5, pp. 926–962. Una revisión de conceptos y problemas fundamentales con una extensa bibliografía.

COLBERT, EDWIN HARRIS, 1953, The record of climatic changes as revealed by vertebrate paleoecology, Chapter 21, pp. 249–271, *in* Harlow Shapley, ed., Climatic change; evidence, causes, and effects: Cambridge, Harvard Univ. Press, ix and 318 pp. "De esta manera hemos supuesto cómo fueron las condiciones ecológicas (y por extensión, las climáticas) y también por la presencia de ciertos animales en los sedimentos. Esta suposición se apoya sobre un precepto básico que debe aceptarse desde el principio, si nuestra interpretación de los climas del pasado, de acuerdo con la evidencia de la paleoecología de los vertebrados, tiene orden y validez. El precepto es aquel que, dentro de límites amplios, el pasado debe ser interpretado en función del presente."

COLLINGWOOD, ROBIN GEORGE, 1956, The idea of history: New York, Oxford Univ. Press, xxvi and 339 pp. "...mientras la ciencia vive en un mundo de generalidades abstractas, las cuales en un sentido están en todas partes y en otro en ninguna, en un sentido en todas las épocas y en otro en ninguna, las cosas alrededor de las cuales los razonamientos del historiador no son abstractos sino concretos, no son generales sino individuales, no indiferentes al espacio y al tiempo sino que tienen un dónde y un cuándo propios, aunque el dónde no es necesario que esté aquí y el cuándo es posible que no sea ahora."

2—1960, The idea of nature: New York, Oxford Univ. Press, viii and 183 pp. "Concluyo que la ciencia natural existe como una forma de pensamiento y siempre ha existido en el contexto de la historia, por lo que su existencia depende del pensamiento histórico. De aquí que me aventure a inferir que ninguno puede comprender a la ciencia natural con la excepción de aquel que comprende lo que es la historia: en resumen, uno puede contestar la pregunta relativa a lo que es la naturaleza solamente en el caso de conocer la historia. A esta cuestión no han contestado Alexander y Whitehead y, por este motivo, doy respuesta a la pregunta, ¿hacia dónde

vamos? Contestando "vamos de la idea de la naturaleza a la idea de la historia."

COOMBS, D. S., 1957, The growth of the geological sciences: an inaugural lecture delivered before the University of Otago on 5 July, 1956: Dunedin, New Zealand, Univ. Otago, 19 pp.

COOPER, GUSTAV ARTHUR, 1958, The science of paleontology: J. Paleont., vol. 32, no. 5, pp. 1010–1018. La paleontología es una ciencia esencialmente biológica que abarca seis disciplinas: morfología, taxonomía, evolución, distribución de los fósiles en el espacio, paleoecología y correlación.

COTTA, BERNHARD VON, 1874, Die Geologie der Gegenwart: Leipzig, J. J. Weber, xii and 450 pp. "Die Mannigfaltigkeit der Erscheinungsformen ist eine nothwendige Folge der Summierung von Resultaten aller Einzelvorgänge, die nacheinander eingetreten sind..."

CRICKMAY, COLIN HAYTER, 1959, A preliminary inquiry into the formulation and applicability of the geological principle of uniformity: Calgary, Alberta, privately printed, iii and 50 pp. "La uniformidad como principio fue concebida originalmente como una desavenencia con la noción más antigua de la inmutabilidad geomórfica y, por lo tanto, en esencia fue una teoría de la uniformidad de cambio... La ley de la uniformidad de la esencia de las cosas geológicas, debe incluir, con el fin de ser general, la posibilidad de una variación de causas y efectos más amplia que la que se le haya asignado."

DALY, REGINALD ALDWORTH, 1910, Some chemical conditions in the pre-Cambrian ocean: 11th Internat. Geol. Cong., Stockholm, C.R., vol. 1. pp. 503–509. "...una perspectiva estrictamente uniformista de la historia del océano debe considerarse errónea; ... su evolución, en conjunto, significa que ha progresado desde una condición de aguas dulces hasta su actual condición salina..."

2—1945, Biographical memoir of William Morris Davis: Nat. Acad. Sci. Biog. Mem., vol. 23, 11th Mem., pp. 263–303. "A pesar de lo valioso que es, el esquema del ciclo de la erosión no es tan importante para la investigación de la ciencia terrestre como la filosofía fundamental que formula deducciones que no son inferiores ni un ápice a las inducciones en el apero del naturalista."

DAVIS, WILLIAM MORRIS, 1895, Bearing of physiography on uniformitarianism (Abs.): Geol. Soc. Am., B., vol. 7, pp. 8–11. "El Uniformismo, razonablemente entendido, no es una limitación rígida de los procesos del pasado a los ritmos de los procesos actuales, sino que es una asociación racional de efectos observados de causas competentes. Los acontecimientos deben haber progresado más rápido o más lento en el pasado que durante el breve intervalo que llamamos presente, pero los acontecimientos del pasado y del presente difieren en grado, no en clase."

2—1904, The relations of the earth sciences in view of their progress in the nineteenth century: J. Geol., vol. 12, pp. 669–687. "La geología, considerada en forma objetiva no es simplemente una de tantas ciencias terrestres; es el conjunto de ellas: es la historia universal de la Tierra."

3—1926, The value of outrageous geological hypotheses: Science, n.s., vol. 63, pp. 463–468. "El fundamento importante de nuestra ciencia es sola-

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA MG

mente una inferencia; su conjunto descansa en la suposición no comprobable de que a través del lapso inferido, dentro del cual se ha deducido la realización de los procesos geológicos colegiados implicados, éstos han estado progresando en una forma consistente de acuerdo con las leyes de la naturaleza, tal como las conocemos ahora."

4—1926, Biographical memoir—Grove Karl Gilbert, 1843–1918: Nat. Acad. Sci. Biog. Mem., vol. 21, 5th Mem., v and 303 pp. Las leyes de la erosión de Gilbert son discutidas en las Págs. 49-50 y sus ideas del método científico en las Págs. 145–148.

5—1954, Geographical essays (edited by Douglas Wilson Johnson): New York, Dover Publications, vi and 777 pp.

DAWSON, *Sir* JOHN WILLIAM, 1894, Some recent discussions in geology: Geol. Soc. Am., B., vol. 5, pp. 101–116. "Si el uniformismo materialista absoluto llegara alguna vez a ser la doctrina universal de la ciencia, provocaría una reacción en la mente humana que en sí sería un cataclismo."

DEER, WILLIAM ALEXANDER, 1953, Trends in petrology: Manchester Lit. and Phil. Soc., Mem. and Pr., vol. 94 (1952–1953) pp. 63-92. Al petrólogo "se le presentan los productos finales que han alcanzado su estado actual después de haber experimentado muchos cambios en el espacio y en el tiempo. El problema básico es aclarar este patrón espacio-tiempo complejo y siempre variable. Aunque ésta es la esencia de toda ciencia, le incumbe más a la geología que a todas las demás ciencias. Muchas se inician con la materia prima; al geólogo se le muestran los productos finales y, a diferencia del biólogo, su material no es vivo, sino muerto. Su tarea es hacerlo que viva."

DEEVEY, EDWARD SMITH, JR., 1944, Pollen analysis and Mexican archeology: an attempt to apply the method: Am. Antiquity, vol. 10, no. 2, pp. 134–149. "Entonces, en general, el principio de Occam de la economía de las hipótesis nos apremia a mantener en suspenso, por el momento, una aplicación tan detallada del 'factor climático' en la historia humana, aunque esto no destruiría la utilidad de los cambios ligeros en la vegetación o en el clima como índices cronológicos en una sucesión polinífera."

2—1953, Paleolimnology and climate, Chapter 22, pp. 273–318 *in* Harlow Shapley, ed., Climatic change; evidence, causes, and effects: Cambridge, Harvard Univ. Press., ix and 318 pp. "En el estudio de los lagos que son ecosistemas que por sí mismos conducen más fácilmente a la clase de análisis que no pierden de vista su integridad esencial, el geólogo y el ecólogo pueden colaborar con mayor satisfacción. Uno sabe que el presente es la llave al pasado; el otro sabe que el pasado es la llave al presente y cada uno piensa del otro como el experto cautivo."

DE GOLYER, EVERETTE LEE, 1948, Science—a method, not a field: Norman, Univ. of Oklahoma Press, 15 pp. "... Podemos ser algo pragmáticos y aceptar como verdad aquella que se conforma con la realidad dentro de nuestro entendimiento actual."

DEMAY, ANDRÉ, 1951, Observation, interprétation et théorie en géologie, *in* Sciences de la terre, XXI Cong. Internat. Phil. Sci., Paris, 1949: Paris, Hermann, pp. 41–54. En la geología, donde los problemas más difíciles son los de la génesis o los de la evolución, una teoría generalmente pretende reconstruir una sucesión de fenómenos y descubrir en los mismos el funcionamiento de las leyes mecánicas, físicas o químicas.

DINGLE, HERBERT, 1955, Philosophical aspects of cosmology, *in* Arthur Beer, ed., Vistas in astronomy: Oxford, Pergamon Press, vol. 1, pp. 162–166. "... no podemos permitir al pasado inaccesible libertad para que la goce a su placer ...; en cierto grado debe conformarse al patrón sobre el cual organizamos el presente comportamiento del universo."

DYLIK, JAN, 1953, Caractères du développement de la géomorphologie moderne: Soc. Sci. et Lettres Lódz, Cl. III, B., vol. 4, no. 3, 40 pp.

EBERT, HEINZ, 1953, Petrologie im kristallinen Praekambrium, genetisch oder historisch?: 19th Internat. Geol. Cong., Algiers, 1952, C.R., sec. 1, fasc. 1, pp. 81–87. "Respecto a los 'escudos precámbricos' permanecen latentes ciertos errores petrológicos a causa de la equivocación muy extendida de que el punto de vista genético de los petrólogos es equivalente del histórico de los geólogos ... En vez de atribuir una 'explicación' genética a las rocas, uno debe considerarlas como productos de una evolución larga y complicada ..."

EISLEY, LOREN COREY, 1958, Darwin's century; evolution and the men who discovered it: Garden City, N. Y., Doubleday, xvii and 378 pp. "Si hay una mente que merezca catalogarse entre la época de los grandes genios de la astronomía (siglo XVII) y la de Charles Darwin (siglo XIX), es la de James Hutton... Descubrió una cosa intangible contra la cual se acorazó la mente misma. En otras palabras, descubrió el tiempo —el tiempo eterno y sin fin, el tiempo de los antiguos orientales— pero en este caso lo demostró con las propias piedras del mundo..."

EMMONS, EBENEZER, 1855, American geology, containing a statement of the principles of the science with full illustrations of the characteristic American fossils, with an atlas and a geological map of the United States; vol. 1, pt. 1:. Albany, N. Y., Sprague, J. Munsell, xvi and 194 pp. "Entonces, cada periodo es un fragmento; pero el presente es mayor que todo el pasado en conjunto."

ENGELS, FRIEDRICH, 1940, Dialectics of nature; Translated and edited by Clemens Dutt, with a preface and notes by J. B. S. Haldane: New York, International Publishers, xvi and 383 pp. "El defecto de la idea de Lyell —al menos en su primera forma— fue imaginar que las fuerzas que actúan sobre la Tierra son constantes tanto en calidad como en cantidad. Para él, no existe el enfriamiento de la Tierra; la Tierra no evoluciona en una dirección definida sino simplemente cambia de una manera fortuita ilógica."

FAIRCHILD, HERMAN LE ROY, 1904, Geology under the planetesimal hypothesis of earth origin (with discussion): Geol. Soc. Am., B., vol. 15, pp. 243–266. "Los geólogos han sido muy generosos al permitir que otros les hagan su propia filosofía."

FEIGL, HERBERT, 1943, Logical empiricism, pp. 373–416 *in* Dagobert David Runes, ed., Twentieth Century Philosophy: New York, Philosophical Library, 571 pp. "Si todo el conocimiento *a priori* es analítico, entonces no podemos deducir una aserción sintética, semejante al principio de la uniformidad de la naturaleza que provenga de premisas *a priori*. Y si tratamos de hacer válida la inducción en base a su indudable éxito eminente

en el pasado, simplemente estamos haciendo una inducción acerca de una inducción y se presupone el mismo principio que nos disponemos probar."

FFUER, LEWIS SAMUEL, 1957, The principle of simplicity: Philosophy of Science, vol. 34, pp. 109–122. Los principios metacientíficos y metodológicos de la simplicidad son conceptos independientes, siendo los últimos nada más un caso especial del principio de la verificabilidad.

2—1959, Rejoinder on the principle of simplicity: Philosophy of Science, vol. 26, pp. 43–45. "... Si continuamos haciendo enunciados científicos relacionados con el distante pasado o con el futuro, la única forma de continuar haciéndolo así es por el uso extrapolativo de las leyes conocidas de la naturaleza. En la forma que se aplica al pasado, esto es precisamente lo que hace la geología histórica".

FISHER, *Sir* RONALD AYLMER, 1954, The expansion of statistics: Am. Scientist, vol. 42, no. 2, pp. 275–282, 293. Algunos de los avances más grandes del siglo XIX se verificaron por la aplicación de las ideas estadísticas. Un ejemplo es la subdivisión de Lyell de la sucesión del Terciario de acuerdo con el porcentaje de especies fósiles con descendientes vivos. Pero el argumento estadístico "por el cual fue efectuada esta revolución en la ciencia geológica se olvidó casi inmediatamente ... Su propósito se había alcanzado; la escalera con la que se escaló la altura podía eliminarse".

FLETT, *Sir* JOHN SMITH, 1940, Pioneers of British geology: Roy. Soc. New South Wales, J. Pr., 1939, vol. 73, pt. 2, pp. 41–66. "... aunque se reconoce que existie limitaciones a su aplicación subsistió el principio general de que la explicación de la historia pasada de la Tierra debe buscarse primero en los procesos que continúan a nuestro alrededor en el presente."

FRANKEL, CHARLES, 1957, Explanation and interpretation in history: Philosophy of Science, vol. 24, pp. 137–155. "...algunas veces parece ser el caso que cuando preguntamos por la explicación de un fenómeno dado, el que nos interese, y logramos quedar satisfechos, lo que se ha hecho es una estimación de las etapas de un proceso, siendo la última el fenómeno en la forma en que exhibe los rasgos acerca de los cuales hemos formulado nuestra pregunta. Este es uno de los significados estables y aceptados de la 'explicación' en el hábito ordinario."

FREYBERG, BRUNO VON, *et al.*, 1938, Fragen der geologischen Ausbildung: Deut. Geol. Ges., Zs., vol. 90, no. 3, pp. 148–166. "Für jede Ausbildung muss leitend sein, dass es *Erdgeschichte* ist, was wir treiben, keine *Erdbeschreibung*."

FU, C. Y., 1948, Methods and problems of geophysics: Chinese Geophys. Soc., J., vol. 1, no. 1, pp. 1–15. "Hay ... científicos quienes creen que las leyes naturales tienden a ser fenómenos simples y naturales ... inherentemente uniformes. Quizá es prudente pretender la simplicidad, pero no hay razón *a priori* por la cual deba ser caracterizada la naturaleza en esta forma. El hecho es que la simplicidad y la complejidad alternan a medida que progresa la ciencia..."

GALBRAITH, F. W., ed., 1961, What is geology?: Univ. Arizona, Studies in Geology, vol. 1, 36 pp. Contiene once artículos sobre el objeto de la geología y la relación recíproca de las principales especialidades geológicas.

GALLIE, WALTER BRYCE, 1955, Explanations in history and the genetic sciences: Mind, vol. 64, pp. 160-180. "...una explicación característicamente genética pone de relieve el transcurso irreversible del tiempo —lo que llega primero explica, en el sentido genético, lo que llega después, y no a la *inversa*. En otras palabras, el acontecimiento previo no es tomado, en conjunción con ciertas leyes universales, para que ambos constituyan una condición suficiente y necesaria de la ocurrencia del evento subsiguiente."

GEIKIE, *Sir* ARCHIBALD, 1893, Geological change, and time: Smithsonian Inst., Ann. Rept., 1892, pp. 111-131. "Creo que Lord Kelvin se ha de sentir gustoso al concedernos unos veinte millones de años, aunque el profesor Tait nos tendrá contentos con menos de diez millones... Después de una reflexión cuidadosa sobre el tema, afirmo que el registro geológico ofrece un volumen de pruebas que ninguno de los argumentos inferidos de otras ramas de la naturaleza puede justificar y el que, a mi parecer, no puede ser interpretado satisfactoriamente, salvo con una tolerancia de tiempo que va más allá de los límites estrechos que podría conceder la especulación reciente de la física."

2—1897, The founders of geology: London, Macmillan, x and 297 pp. Huellas de la evolución del pensamiento geológico desde 1750 a 1820.

GIGNOUX, MAURICE, 1951, Le rôle joué par les sciences de la terre dans nos répresentations de la matière, *in* Sciences de la terre, XXI Cong. Internat. Phil. Sci., Paris, 1949: Paris, Hermann, pp. 123–129. Las propiedades físicas y dinámicas que determinan la mecánica de la deformación, las cuales serán exhibidas por una sustancia dada, varían de acuerdo con la escala del tiempo empleada por el investigador.

GILBERT, GROVE KARL, 1886, The inculcation of scientific method by example, with an illustration drawn from the Quaternary geology of Utah: Am. J. Sci., 3d ser., vol. 31 (whole no. 131), pp. 284–299. Un fenómeno natural generalmente tiene antecedentes y consecuentes múltiples cuyas cadenas longitudinales tienen forma de red. Para descubrir los antecedentes de los fenómenos se inventan y se prueban hipótesis. El razonamiento implicado al idear y comprobar las hipótesis es analógico.

2—1896, The origin of hypotheses, illustrated by the discussion of a topographic problem: Science, n.s., vol. 3, pp. 1–13. "...las hipótesis siempre son sugeridas por medio de la analogía. El fenómeno inexplicado, en el que el estudiante fija su atención, se asemeja en algunas de sus características a otro fenómeno del cual se conoce la explicación."

GILLISPIE, CHARLES COULSTON, 1951, Genesis and geology, a study in the relations of scientific thought, natural theology and social opinion in Great Britain, 1790–1850: Cambridge, Harvard Univ. Press, xiii and 315 pp. "La geología... fue la primera ciencia a la que le interesó la historia de la naturaleza más que su orden... Aquel carácter histórico hizo de la geología un tipo de ciencia diferente que fue apreciado desde sus inicios. En algunas ocasiones se expresaron dudas en cuanto a si podría llamársele una ciencia, en lo absoluto. Puesto que el geólogo, al igual que el historiador, confía principalmente en reliquias y monumentos antiguos de cambio, se pensó que sus conclusiones serían discutibles en alguna forma como no lo fueron, por ejemplo, las de los físicos."

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES

GILLULY, JAMES, 1949, Distribution of mountain building in geologic time: Geol. Soc. Am., B., vol. 60, no. 4, pp. 561–590. "...Sea lo que fuere no veo fundamentos para suponer cualquier incremento del tiempo para el diastrofismo durante la época postlipaliana. El uniformismo de Lyell, sin embargo, parece no requerir cualquiera de las reformas que se han sugerido."

GOGUEL, JEAN, 1948, La place de la géophysique parmi les disciplines géologiques: Géol. Appliquée et Prosp. Min., no. 2 pp. 123–135. "Certes dans l'ère de la géophysique nous faisons des mesures, mais ce que nous mesurons, ce n'est pas, ce n'est jamais ce que nous voudrions deviner."

2—1951, La géologie, science naturelle ou science physique?, *in* Sciences de la terre, XXI Cong. Internat. Phil. Sci., Paris, 1949: Paris, Hermann, pp. 7–15. De las ciencias físicas, la geología se distingue por su método histórico. Sin embargo, sus reconstrucciones históricas deben estar de acuerdo con las leyes de la física, de la química y de la mecánica que se supone son permanentes.

GOLD, THOMAS, 1956, Cosmology, *in* Arthur Beer, ed., Vistas in astronomy: London and New York, Pergamon Press, vol. 2, pp. 1721–1726. "El postulado de la simplicidad se encuentra en algunas ocasiones tan firme en nuestras mentes que es difícil reconocerlo; pero es muy cierto que es un postulado de la mayor importancia y que sin él, el progreso científico, a través de la generalización de los hechos conocidos, sería imposible."

GOODCHILD, JOHN GEORGE, 1896, Some geological evidence regarding the age of the earth: Roy. Phys. Soc. Edinburgh, Pr., vol. 13 (1896–1897), pp. 259–308. "...la idea fundamental que el geólogo fija en su mente es la de que todos los cambios, físicos y biológicos, de los que nos informan los registros de las rocas, que han tenido lugar en la Tierra en el Pasado, solamente pueden ser entendidos e interpretados con propiedad por referencia a los cambios de la misma naturaleza que se sabe progresan en el Presente. Por supuesto, esto no implica un uniformismo absoluto (como se entiende generalmente) pero cede por el catastrofismo en ciertos casos excepcionales junto con la uniformidad normal de acción en el reposo."

GOODMAN, NELSON, 1943, On the simplicity of ideas: J. Symbolic Logic, vol. 8, no. 4, pp. 107–121. "La idea más económica, al igual que la máquina más económica, es la que rinde más con el uso mínimo."

2—1955, Fact, fiction and forecast: Cambridge, Harvard Univ. Press., 126 pp. "El escritor típico comienza por insistir que debe encontrarse alguna forma de justificar las predicciones; procede a argumentar que para este propósito necesitamos una ley universal de resonancia, la de la Uniformidad de la Naturaleza y entonces averigua cómo puede justificarse por sí mismo este principio universal... Tal investigación... rara vez satisface a alguien más y el curso más fácil para aceptar suposiciones inconsistentes y aun dudosas, mucho más generales que cualquiera de las predicciones reales que podamos hacer, parece una forma extraña y costosa para justificarlas."

3—1958, The test of simplicity: Science, vol. 128, no. 3331, pp. 1064–1069. "Nada podría estar más equivocado que la idea tradicional de buscar primero un verdadero sistema y después, a causa de la elegancia, buscar uno simple. Inevitablemente nos concierne la simplicidad tan pronto nos concierne, en absoluto, el sistema; puesto que éste se realiza justamente hasta el grado en que se simplifican el vocabulario básico y la serie de primeros principios usados al tratar con la materia dada."

GORDEEV, D. I., 1960, Znachenije, filosofskikh trudov V. I. Lenina dlya geologii (The meaning of V. I. Lenin's philosophical works for geology): Moscow Univ., Vest., ser. 4, Geol., no. 4, pp. 3–7. La geología, más que cualquiera otra ciencia, trata con fenómenos cíclicos; pero esta misma periodicidad si no se aproxima desde el punto de vista de Lenin, adquirirá un carácter metafísico y antihistórico, como puede verse en ciertos escritos extraños.

2—1961, Stikhiinaya materialisticheskaya dialektika v geologicheskikh sochineniyakh M. V. Lomonosova (Dialectical materialism in the works of M. V. Lomonosov): Moscow Univ., Vest., Geol., no. 5, pp. 7–26. En 1763, Lomonosov introdujo en la geología el principio del actualismo. A causa de que advirtió que la Tierra evoluciona en una dirección definida, su uniformismo fue más sustancial que el de Lyell.

GORDON, WILLIAM THOMAS, 1934, Plant life and the philosophy of geology: British Assoc. Adv. Sci., Rept., 1934, pp. 49–82. "Tomando en consideración todo lo que conocemos, el consenso general de la opinión es que las plantas *ofrecen* un índice de cambios climáticos y que estos cambios han sido muy considerables en épocas pasadas."

GOUDGE, THOMAS ANDERSON, 1958, Causal explanations in natural history: British J. Phil. Sci., vol. 9, no. 35, pp. 194–202. "...el modelo de un sistema deductivo jerárquico, tan a menudo presentado como el ideal al cual debe aproximarse la parte teórica de *cada* ciencia, no es pertinente a las ciencias a las que les concierne la historia natural, sin embargo, es muy apropiado a todas las ciencias no históricas."

2—1961, The genetic fallacy: Synthese, vol. 13, no. 1, pp. 41–48. La geología, la paleontología y otros estudios con un interés para el desarrollo histórico, hacen uso en forma regular y justificable de las explicaciones genéticas. Son introducidos los sofismas en dichas explicaciones cuando el orden temporal es confundido con el orden lógico, cuando se supone que una explicación genética dice todo lo que hay que decir acerca del fenómeno en cuestión, cuando se supone que el fenómeno que debe ser explicado es simplemente la recapitulación más que el resultado de sus etapas antecedentes y cuando una condición trivial pero necesaria de un estado altamente desarrollado es tratada como si fuera una condición suficiente de aquel estado.

3—1961, The ascent of life; a philosophical study of the theory of evolution: Toronto, Univ. Toronto Press, 263 pp. "...la doctrina de la evolución no sería inteligible a menos que el principio del uniformismo describa cuál es el caso."

GOULD, R. P., 1957, The place of historical statements in biology: British J. Phil. Sci., vol. 8, pp. 192–210. "Las retrodicciones, obviamente no son tan convincentes como las predicciones, ya sea como la confirmación o como la falsificación de una hipótesis explicatoria debido a que se está usando un enunciado acerca del pasado (el cual es principalmente hipotético) como si fuera un registro de la observación."

GRABAU, WARREN EDWARD, 1960, Geology as an historical tool: Gulf Coast Assoc. Geol. Societies, Tr., vol. 10, pp. 87–91. Como un arte reconstructivo, la geología es potencialmente aplicable a cualquier campo del esfuerzo humano al que le concierne la reconstrucción del pasado. Se proporcionan ejemplos de acontecimientos históricos en la Guerra Civil que son explicados en función de la evidencia geológica.

GREENE, JOHN COLTON, 1959, The death of Adam; evolution and its impact on Western tought; Ames, Iowa, Iowa State Univ. Press, 338 pp. "... la explicación de los fenómenos terrestres debe buscarse en las obras cotidianas de la naturaleza, no en los eventos cataclísmicos. Este fue el principio básico del *uniformismo*, la piedra fundamental de la geología moderna ..."

GRENE, MARJORIE, 1958, Two evolutionary theories: British J. Phil. Sci., vol. 9, no. 34, pp. 110–127; no. 35, pp. 185–193. "... en vez de la navaja de Ockham podríamos adoptar como prueba de las teorías de la evolución el principio opuesto: que las entidades, o quizá, más generalmente, los aspectos de la realidad ... no deben ser *sustraídos* más allá de lo que es honesto. A la luz de este principio debemos preguntar a cualquier teoría de la evolución qué es lo que pretende hacer sin conceptos, la cual, de hecho, no hace nada sin ellos."

GRESSLY, AMANZ, 1938, Observations géologiques sur le Jura soleurois: Allgem. Schweiz. Ges. f. d. gesammten Natuwiss., Neue Denkschr., vol. 2, 349 pp. "Et d'abord il est deux faits principaux, qui charactérisent partout les ensembles de modifications que j'appelle *facies* ou *aspects de terrain*: l'un consiste en ce que *tel ou tel aspect pétrographique d'un terrain quelconque suppose nécessairement, partout où il se rencontre, le même ensemble paléontologique*; l'autre, en ce que *tel ou tel ensemble paléontologique exclut rigoureusement des genres et des espèces des fossiles fréquents dans d'autres facies*."

GRIFFITHS, JOHN CEDRIC, 1960, Aspects of measurement in the geosciences: Mineral Industries, vol. 29, no. 4, pp. 1, 4–5, 8. "Las ciencias naturales se encuentran en algún sitio entre las ciencias 'precisas' y las 'imprecisas' y tienen algunas de las ventajas y desventajas de ambas; en realidad, a causa de esta posición transicional, los procedimientos utilizados en las ciencias naturales pueden beneficiarse de los análisis que emplean procedimientos lógicos de estas ciencias consideradas como 'duras' y 'suaves', respectivamente."

GUNTER, GORDON, 1953, The development of ecology and its relationship to paleontology: Texas J. Sci., vol. 5, no. 2, pp. 137–147. "... la paleoecología está basada en la suposición fundamental de que cualquier grupo de organismos vivió en el pasado en un ambiente esencialmente similar a aquel en el cual ellos o sus contrapartes viven actualmente. La validez de esta suposición está apoyada por el hecho de que investigadores de grupos de organismos diferentes por completo se comprueban mutuamente en sus interpretaciones paleoecológicas."

GUTENBERG, BENO, 1937, Geophysics as a science: Geophysics, vol. 2, no. 3, pp. 185–187.

HAARMANN, ERICH, 1935. Um das geologische Weltbild, *malleo et mente*: Stuttgart, Ferdinand Enke, xi and 108 pp. "Diese *universale Bedeutung der Geologie* muss uns nicht anspornen, eifrig an der Lösung der vielen geologischen Probleme weiterzuarbeiten, sondern auch veranlassen, unsere *Forschungsergebnisse in einer verständlichen und klaren Sprache mitzuteilen, die jeder Gebildete verstehen kann.* Nur so ist es möglich, dass die Geologie der Menschheit dort dient, wo sie ihr unentbehrlich ist: *als Grundstein für das gesamte Weltbild der Menschheit*".

HABER, FRANCIS COLIN, 1959, The age of the world: Moses to Darwin: Baltimore, Johns Hopkins Press, xi and 303 pp. "Me parece que la presión constante de la idea cristiana de los procesos históricos a la vista de los procesos naturales ayudó a conservar una perspectiva genética en función de un tiempo actualista, concreto. Fue considerablemente una cuestión de acondicionamiento y prejuicio durante los siglos XVI, XVII y XVIII, aunque se mantuvo una preparación potencial hasta que los geólogos descubrieron la cronología real de la Tierra en los estratos fosilíferos ..."

HACK, JOHN TILTON, 1960, Interpretation of erosional topography in humid temperate regions: Am. J. Sci., vol. 258-A (Bradley Volume), pp. 80–97. "La teoría del equilibrio dinámico explica las formas topográficas y la diferencia entre ellas de una manera tal que puede decirse que es independiente del tiempo."

HALDANE, JOHN BURDON SANDERSON, 1944, Radioactivity and the origin of life in Milne's cosmology: Nature, vol. 153, no. 3888, p. 555. La teoría cosmológica de Milne permite la descripción de acontecimientos en función de dos diferentes escalas del tiempo, las cuales tienen diferentes implicaciones para la geología histórica. El uso de una escala del tiempo basada sobre un pasado finito y un espacio euclidiano implica que el ritmo al que ha sido liberada la energía por medio de un cambio subatómico o químico, ha sido constante. El uso de una escala basada en un espacio hiperbólico, implica inversamente, que en el pasado geológico el cambio químico fue menos eficiente como fuente de la energía mecánica que lo que es ahora o lo que será en el futuro.

2—1949, Human evolution: past and future, Chapter 22, pp. 405–418, *in* Glenn L. Jepsen, Ernst Mayr, and George Gaylord Simpson, eds., Genetics, paleontology, and evolution: Princeton, Princeton Univ. Press, xiv and 474 pp. "Somos poliformos no sólo en nuestra estética sino también en nuestra capacidad intelectual. Hay formas tan diferentes de describir el mundo como la geometría analítica y la de proyección que pueden ser igualmente ciertas, aun cuando en la actualidad una mente humana no pueda aceptar más que una de ellas a la vez."

3—1956, Can a species concept be justified?: Systematics Assoc., London, Pub. no. 2, pp. 95–96. Una especie es un nombre dado a un grupo de organismos como una cuestión de conveniencia y necesidad. "... el concepto de una especie es una concesión a nuestros hábitos lingüísticos y a los mecanismos neurológicos."

HALL, JAMES, 1883, Contributions to the geological history of the American continent: Am. Assoc. Adv. Sci., Pr., 1882, vol. 31, pp. 29–69. "El gran problema de la geología es la historia íntegra, química, física, zoológica y botánica de los grupos de estratos que constituyen las formaciones del globo."

Biblioteca Municipal "Murilo Mendes"

HAMEISTER, ERNST, 1935, Übersichtstabelle der Methoden der angewandten Geophysik in der praktischen Geologie: Zs. prakt. Geol., vol. 43, no. 2, pp. 26–29. Expone en forma tabular cómo los diferentes métodos geofísicos —eléctrico, sísmico, magnético y gravimétrico— pueden utilizarse para investigar varios fenómenos geológicos.

HARRASSOWITZ, HERMANN, 1936, Die Grenzen geologischer Erkenntnis: Forsch. u. Fortschr., Berlin, vol. 12, no. 28, pp. 355–357. "Bei dieser ontologischen Methode oder der Anwendung des Grundsatzes des Aktualismus ist natürlich nie der Beweis zu erbringen, dass in der geologischen Vergangenheit Gesteine nicht auch unter anderen Umständen entstanden sind."

2—1936, Die Grenzen geologischer Erkenntnis in ihrer Bedeutung für Geologie und Bergbau: Metall u. Erz, vol. 33, no. 16, pp. 425–431. "Geologische Schlüsse geschichtlicher Art bleiben immer nur Annahmen, die niemals als Tatsachen erweisbar sind."

HARRINGTON, JOHN WILBUR, and HAZLEWOOD, E. L., 1962, Comparison of Bahaman land forms with depositional topography of Nena Lucia dune-reef-knoll, Nolan County, Texas: study in uniformitarianism: Am. Assoc. Petroleum Geol., B., vol. 46, no. 3, pp. 354–373. El desarrollo de las actuales formas terrestres en las Bahamas se ha tomado como base para explicar el crecimiento de un arrecife cónico en el subsuelo del Pensilvánico de la Cuenca Midland en Texas.

HAUGHTON, SIDNEY HENRY, 1957, The geophysicist and some geological problems: Roy. Soc. S. Africa, Tr., vol. 35, pt. 2, pp. 59–69. "Las observaciones todavía son la columna dorsal de la geología: a las hechas directamente en el campo o en los laboratorios petrológicos, mineralógicos y paleontológicos les agregamos las observaciones hechas por los tipos variados de instrumentos que el físico ha puesto a nuestra disposición."

HAWKES, LEONARD, 1957–1958, Some aspects of the progress of geology in the last fifty years; I: Geol. Soc. London, Quart. J., vol. 113, pp. 309–321; 1957; II: *ibid.*, vol. 114, pp. 395–410, 1958. Los uniformistas, en el sentido lyelliano, han perdido fuerza una vez más, pues aún no se ha aclarado cómo el oxígeno atmosférico o la jaspilita, mineral de hierro bandeado, del Precámbrico, pueden explicarse de acuerdo con la sentencia de que el presente es la llave al pasado.

HAWKINS, HERBERT LEADER, 1936, Palaeontology and humanity: British Assoc. Adv. Sci., Rept., 1936 pp. 57–80. "Así como una re' se describe como una serie de agujeros que se mantienen unidos por una cuerda, así una serie de estratos debe representar, por lo común, una sucesión de interrupciones separadas por películas de sedimento."

2—1938, Humanity in geological perspective: British Assoc. Adv. Sci., Rept., 1938, pp. 546–556. "La antigua impostura de la exactitud de las ciencias 'exactas' todavía engaña a la humanidad por medio de la creencia desatinadamente ilógica de que un argumento rígidamente lógico debe alcanzar un resultado correcto, cualesquiera que sean los errores que puedan existir en las premisas sobre las que está basado."

HEDBERG, HOLLIS DOW, 1948, Time-stratigraphic classification of sedimentary rocks: Geol. Soc. Am., B., vol. 59, no. 5, pp. 447–462. "... la necesidad ... del hombre de aplicar un sistema clasificatorio arbitrario y delimitado

estrictamente, a lo que en la Naturaleza es con frecuencia un proceso continuo o un cambio gradual en los caracteres, resulta del clamoreo de la mente humana al buscar peldaños en los cuales apoyarse para descansar de la posición más precaria de la pendiente continua que a menudo representa más apropiadamente estas relaciones naturales."

2—1959, Towards harmony in stratigraphic classification: Am. J. Sci., vol. 257, no. 10, pp. 674–683. "La clasificación estratigráfica es la zonificación sistemática de los estratos de la corteza terrestre con referencia a cualquiera de las propiedades o atributos que puedan poseer los estratos."

HEMPEL, CARL GUSTAV, 1942, The function of general laws in history: J. Phil., vol. 39, no. 1, pp. 35–48. "En la historia, como en cualquier otra manifestación de la ciencia empírica, la explicación de un fenómeno consiste en su inclusión bajo las leyes empíricas generales; y el criterio de su firmeza radica no en el hecho de si despierta nuestra imaginación, o si se presenta en forma de analogías sugestivas o, bien, si de alguna otra manera se hace aparecer como razonable ... sino exclusivamente si se apoyo en suposiciones empíricamente bien confirmadas que conciernen a las condiciones iniciales y a las leyes generales."

2—1958, The theoretician's dilemma, a study in the logic of theory construction; *in* H. Feigl, M. Scriven and G. Maxwell, eds., Minnesota Studies in the Philosophy of Science, vol. 2: Minneapolis, Univ. Minnesota Press, pp. 37–98. "La explicación, la predicción y la postdicción científicas tienen el mismo carácter lógico: muestran que el hecho bajo consideración puede inferirse de otros ciertos hechos por medio de leyes generales especificadas."

HENBEST, LLOYD GEORGE, 1952, Significance of evolutionary explosions for diastrophic division of earth history (Introduction to a symposium on the distribution of evolutionary explosions in geologic time): J. Paleont., vol. 26, pp. 299–318. "Sin pretender negar que el ritmo o la vibración es una característica común de los procesos naturales, es evidente que lo teorizante sobre el ritmo en la naturaleza ha excedido a los hechos y posiblemente a su importancia real."

HERSCHELL, *Sir* JOHN FREDERICK WILLIAM, 1831, A preliminary discourse on the study of natural philosophy, *in* The cabinet of natural philosophy conducted by the Rev. Dionysius Lardner: Philadelphia, Carey and Lea, 279 pp. "... los geólogos ya recurren, como antaño, a las causas puramente hipotéticas ...; ahora su esfuerzo lo confinan más bien a ellos mismos en la consideración de causas que efectivamente actúan en la actualidad, con la perspectiva de acertar, en primer lugar, hasta dónde son capaces de explicar los hechos observados y de esta manera presentar con toda legitimidad como fenómenos residuales aquellos efectos que no pueden ser explicados."

2—1841, Whewell on inductive sciences: Quart. Rev. (London), vol. 68, pp. 177–238. "La recomendación más enérgica para excluir las épocas paroxismales no contenderá por una uniformidad *perfecta* mientras los sismos no ocurran diariamente ...: y la cuestión en cuanto a lo que es y lo que no es un paroxismo, de hasta qué punto puede llegar la extensión del recorrido partiendo del reposo o de una oscilación leve sin llegar a merecer el epíteto de catástrofe, es una simple cuestión de fórmula, de importancia científica irrelevante."

HÖLDER, HELMUT, 1950, Geologie und Paläontologie in Texten und ihre Geschichte: Munich, Karl Alber Freiburg, xviii and 566 pp. Un libro informativo para la geología y la paleontología. La parte 1, las tres últimas secciones de la parte 3 y la parte 4 proporcionan un gran número de citas filosóficas. Extensa bibliografía.

HOFF, KARL ERNST ADOLF VON, 1822-1841, Geschichte der durch Überlieferung nachgewiesenen natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche: Gotha, Justus Perthes (vols. 1–3), H. Berghaus (vols. 4–5). "... überwiegende Gründe erlauben nicht nur, sondern fordern sogar, dass man die Veränderungen, die man auf der Erdoberfläche wahrgenommen hat, und noch wahrnimmt, nicht nur als auf einzelne Theile und Gegenden derselben beschränkt betrachten muss, sondern auch dass man sie keinen ausserordentlichen Naturwirkungen, welche aufgehört haben, sondern allein der Wirkung derjenigen Kräfte zuschreiben darf, durch die man noch jetzt alle und jede Naturerscheinungen hervorgebracht sieht; und dass die für uns unermessliche Grösse der Zeiträume, in welchen diese Kräfte allmählich und immerfort gewirkt haben, genügt, die Veränderungen durch eben diese Kräfte hervorbringen zu lassen." (v. 3, pp. 252, 1834.)

HOOYKAAS, REIJER, 1956, The principle of uniformity in geology, biology and theology: Victoria Inst., J. of Tr., vol. 88, pp. 101–116. "Un uniformismo estricto puede con frecuencia ofrecer una garantía contra las fantasías seudocientíficas y las conjeturas vagas, pero puede hacernos olvidar con facilidad que la uniformidad no es una ley, ni una regla establecida según la comparación de los hechos, sino un principio metodológico, que precede a la observación de los hechos. Es el principio lógico de la parsimonia de las causas y de la economía de las nociones científicas."

2—1959, Natural law and divine miracle: a historical-critical study of the principle of uniformity in geology, biology and theology: Leiden, E. J. Brill, 237 pp. "Un apoyo menos estricto del uniformismo daría, quizá, carta blanca a la fantasía, pero también podría abrir nuevas perspectivas. En la peor posición uniformista, se obliga a los fenómenos pasados a quedar preconcebidos en la estructura construida con los acontecimientos que han ocurrido en nuestro tiempo."

HORBERG, CARL LELAND, 1952, Interrelations of geomorphology, glacial geology, and Pleistocene geology: J. Geol., vol. 60, no. 2, pp. 187–190. "... un aspecto central de la geomorfología es su aplicación a la tarea de descifrar la historia del Pleistoceno."

HORTON, ROBERT ELMER, 1945, Erosional development of streams and their drainage basins, hydrophysical approach to quantitative morphology: Geol. Soc. Am., B., vol. 56, no. 3, pp. 275–370. Desarrollo de las leyes de la composición del drenaje, de la ley de las pendientes fluviales y de la ley de la corriente que fluye sobre tierra.

HUBBERT, MARION KING, 1937, Theory of scale models as applied to the study of geologic structures: Geol. Soc. Am., B., vol. 48, no. 10, pp. 1459–1520. Se deriva una teoría general de la similitud entre un modelo y su original para sistemas puramente mecánicos y entonces se aplica a los problemas geológicos ilustrativos.

2—1938, The place of geophysics in a department of geology: Am. Inst. Min. Met. Eng., Tech. Pub. 945, 19 pp. Clasificada de acuerdo con su grado de

dependencia de otras ciencias para sus conceptos fundamentales, la geología es una disciplina de tercer orden subordinada a la física, a la química y a la astronomía. La geofísica y la geoquímica no son ciencias, propiamente dicho, sino que son más bien los vehículos por medio de los cuales una ciencia más dependiente incorpora los datos y técnicas de una ciencia menos dependiente.

3—(Hendricks, Thomas Andrews and Thiel, George Alfred, Chm.), 1949 Report of the Committee on Geologic Education of the Geological Society of America: Geol. Soc. Am., Int. Pr., 1949, pt. 2, pp. 17–21. "... su Comité recomendó *que en todos los niveles de la enseñanza, desde el más elemental hasta el más avanzado, se presentaran a los estudiantes sólo aquellas inferencias por las cuales los datos observacionales esenciales y las etapas lógicas condujeron a la inferencia que ya había sido presentada.* La satisfacción de este criterio apremiará hacia la urgente necesidad de un reexamen crítico desde los cimientos de la estructura lógica de la ciencia geológica."

HUNT, CHARLES B., 1956, A skeptic's view of radiocarbon dates: Univ. of Utah, Anthropological Papers, no. 26, pp. 35–46. "La consistencia de resultados, incluyendo la consistencia en una serie de fechas de radiocarbono, puede ser una evidencia de precisión, pero *no* es una evidencia de exactitud, aunque a menudo se le cita como tal."

HUTTON, JAMES, 1788, Theory of the earth; or an investigation of the laws observable in the composition, dissolution, and restoration of land upon the globe: Roy. Soc. Edinburgh, Tr., vol, pp. 209–304. "Al examinar los objetos actuales contamos con datos para razonar en relación a lo que ha sido y partiendo de lo que realmente ha sido, tenemos datos para concluir en cuanto a lo que ha de suceder en lo venidero. Por lo tanto, en la suposición de que las operaciones de la naturaleza son iguales y constantes, encontramos, en apariencias naturales, medios para concluir que ha transcurrido necesariamente una porción de tiempo en la producción de aquellos acontecimientos cuyos efectos observamos."

HUXLEY, THOMAS HENRY, 1862, The anniversary address to the Geological Society: Geol. Soc. London, Quart. J., vol. 18, pp. xl–liv. "Aliada con la geología, la paleontología ha establecido dos leyes de importancia inestimable: la primera se refiere a que una misma área de la superficie terrestre ha sido ocupada sucesivamente por muy diferentes tipos de seres vivientes; la segunda es aquella en la que el orden de sucesión establecido en una localidad, subsiste en todas, aproximadamente."

2—1881, The rise and progress of palaeontology: Nature, vol. 24, pp. 452–455. "Toda la esencia de la paleontología está basada en dos proposiciones: la primera sostiene que los fósiles son los restos de animales y plantas y la segunda dice que las rocas estratificadas que los contienen son depósitos sedimentarios. Cada una de estas proposiciones está fundada en el mismo axioma relativo a que efectos iguales implican causas iguales."

Interdepartmental Stratigraphic Committee, USSR, 1956, Stratigraphic classification and terminology (Translated from the Russian by John Rodgers.): Int. Geol. Rev., vol. 1, Feb. 1959, pp. 22–38. Se ha desarrollado un esquema de clasificación sobre las premisas de que las subdivisiones estratigráficas existen objetivamente en la naturaleza, más que subjetivamente en

la mente del investigador, y que estas subdivisiones revelan el curso real de la historia geológica.

JACOBS, JOHN ARTHUR, and ALLAN, D. W. 1956, The thermal history of the earth: Nature, vol. 177, no. 4500, pp. 155–157. Estudios de modelos terrestres sugieren que la corteza de la Tierra, que desciende unos 100 km, pudo haber sido refundida aproximadamente durante los primeros mil millones de años de historia terrestre, y que el ritmo de enfriamiento del planeta fue mayor en el pasado que en la actualidad y de esta manera la actividad orogénica pudo haber disminuido con el tiempo.

JAMES, HAROLD LLOYD, 1960, Problems of stratigraphy and correlation of Precambrian rocks with particular reference to the Lake Superior región: Am. J. Sci., vol. 258-A (Bradley Volume), pp. 104–114. "La ley geológica más básica es la de la superposición. Aunque el principio no es evidente por sí mismo, no se aplica con facilidad a rocas altamente deformadas."

JELETZKY, JURIJ ALEXANDER, 1956, Paleontology, basis of practical geochronology: Am. Assoc. Petroleum Geol., B., vol. 40, no. 4, pp. 679–706.

2—1962, The allegedly Danian dinosaur-bearing rocks of the globe and the problem of the Mesozoic-Cenozoic boundary: J. Paleont., vol. 36, no. 5, pp. 1005–1018. "Esta extinción contemporánea geológicamente manifiesta de las animales terrestres y marinos del Mesozoico en el contacto Maestrichtiano-Daniano, debe reflejar algún tipo de cambio radical universal en el régimen físico de nuestro planeta. Este acontecimiento puede considerarse con toda propiedad como una 'catástrofe' o 'una revolución' . . ."

JENNINGS, HERBERT SPENCER, 1933, The universe and life: New Haven, Yale Univ. Press, 94 pp. "El universo sería mucho más fácil de tratar si las leyes de su acción fueran simples y uniformes. ¡Entonces supongamos que son simples y uniformes! La doctrina es un caso marcado de pensamiento anhelante."

JEPSEN, GLENN LOWELL, 1949, Selection, "orthogenesis" and the fossil record: Am. Phil. Soc., Pr., vol. 93, no. 6, pp. 479–500. "La ortogénesis fue expresada con frecuencia como una 'ley' en una época en que se desarrolló una búsqueda ávida de fenómenos o principios biológicos que pudieran ser llamados leyes, según el modelo de las leyes epónimas de la física y de la química."

JOHNSON, DOUGLAS WILSON, 1933, The rôle of analysis in scientific investigation: Geol. Soc. Am., B., vol. 44, no. 3, pp. 461–494. "Las hipótesis de trabajo múltiples como método, empleado en relación con el análisis crítico como un instrumento de precisión, nos ofrece . . la mejor garantía de éxito en la investigación científica."

2—1938–1942, Studies in scientific method: J. Geomorphology, vol. 1, pp. 64–66, 147–152; vol. 2, pp. 366–372; vol. 3, pp. 59–64, 156–162, 256–262, 353–355; vol. 4, pp. 145–149, 328–332; vol. 5, pp. 73–77, 171–173. "Entonces la regla de oro de la exposición científica: *Nunca discutas algo desconocido en función de algo desconocido.*"

JOHNSON, MARTIN, 1951, The meanings of time and space in philosophies of science: Am. Scientist, vol. 39, no. 3, pp. 412–421. "Establecido con rigor, puede decirse que la física se interesa en lo cambiante o en lo alterable

del mundo y no en una idea estática y, de hecho, es el estudio de una serie de acontecimientos cuyo patrón básico es el tiempo-orden."

JORALEMON, IRA BEAMAN, 1952, Age cannot wither, or varieties of geological experience: Econ. Geol., vol. 47, no. 3, pp. 243–259. ". . . no tenemos suficientes pruebas seguras . . . generalizaciones sin excepción o leyes de la ocurrencia de los depósitos minerales."

JOYSEY, KENNETH A., 1952, Fossil lineages and environmental change: Geol. Mag., vol. 89, no. 5, pp. 357–360. "Una guía esencial para la interpretación de las comunidades de fósiles yace en el estudio de los animales vivientes en el actual plano del tiempo. Igualmente, el proceso de la evolución únicamente puede observarse en perspectiva cuando la idea zoológica es proyectada junto con la dimensión del tiempo geológico."

JUDSON, SHELDON, 1958, Geomorphology and geology: New York Acad. Sci., Tr., ser. 2, vol. 20, no. 4, pp. 305–315. "La geología es historia. Quizá más que cualquiera otra característica única, el factor tiempo distingue a la geología de las otras ciencias."

2—1960, William Morris Davis—an appraisal: Zs. Geomorph., vol. 4, no. 3–4, pp. 193–201. "El ciclo de erosión tuvo una aceptación casi inmediata no solamente a causa de su hábil presentación, sino también debido a que la profesión geológica se encontraba preparada para dar la recepción a semejante síntesis. Entonces igualmente el uniformismo, un elemento fundamental en la evolución del ciclo, fue aceptado casi universalmente por los geólogos. Además, el desarrollo ordenado de formas terrestres a través de etapas sucesivas representó un tipo de evolución no orgánica . . . en armonía con las excitantes ideas nuevas sobre la evolución orgánica que predominaban en el mundo científico."

3—1961, Archaeology and the natural sciences: Am. Scientist, vol. 49, no. 3, pp. 410–414. "El arqueólogo reconstruye la historia principalmente de objetos recuperados del suelo . . . Tales reconstrucciones se clasifican, por lo general, bajo el encabezado de 'prehistoria', un término que siempre me molestó un poco a causa de que existe la evidencia de que los acontecimientos del periodo preliterato no se combinan para constituir la historia, una deducción particularmente inaceptable para un geólogo."

KAISER, ERICH, 1931, Der Grundsatz des Aktualismus in der Geologie: Deut. Geol. Ges., Zs., vol. 83, pp. 389–407. "Aber ganz abwegig ist es, wenn man jetzt mehr und mehr von einem *Gesetz des Aktualismus* liest, trotzdem doch die Begründer und Verfechter des Aktualismus nur von einer aktualistischen (ontogenetischen) Methode redeten."

KALKOWSKY, ERNST, 1910, Geologie und Phantasie: Naturw. Ges. Isis, Dresden, Sitzungsber. u. Abh., Jan-June, 1910, pp. 10–19. "Nie hat jemand eine ganze Schicht gasehen, immer nur Stückchen davon hat er vor Augen gehabt, und das Ganze ist in jedem einzelnen Falle nichts als ein Phantasiegebilde. Der Begriff der Schicht, meine ich, steht somit etwa auf derselben Stufe, wie der des Atoms . . ."

KELVIN, WILLIAM THOMSON, *Baron*, 1864, On the secular cooling of the earth: Roy. Soc. Edinburgh, Tr., vol. 23, pt. 1 (1861–1862), pp. 157–169. "Debe admitirse que muchos de los que escriben sobre geología de la escuela 'Uniformista', quienes en otros aspectos tienen una idea profundamente

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — MG.

filosófica de su materia, han discutido de una manera muy falaz contra las hipótesis de la acción violenta de edades pasadas. Si ellos mismos han afirmado con demostraciones, que existen muchas apariencias, aunque sugestivas de violencia extrema y cambio repentino, que pudieron haberse originado por una acción continua a largo plazo o por paroxismos no más intensos que algunos de los que hemos experimentado ... su posición podría haber sido inexpugnable."

2—1871, On geological time: Geol. Soc. Glasgow, Tr., vol. 3, pt. 1, pp. 1–28. "Sería tan justo como razonable tomar una jarra de agua caliente semejante a las usadas en los carruajes y decir que ha permanecido siempre en ese estado —como lo fue para Playfair al afirmar que la Tierra pudo haber estado siempre como lo está ahora, y que no muestra huellas de un comienzo ni progreso hacia un fin."

KEMENY, JOHN GEORGE, 1959, A philosopher looks at science: Princeton, D. Van Nostrand, xii and 273 pp. La suposición del científico de la "uniformidad de la naturaleza", simplemente asegura que las capacidades humanas y la complejidad de la naturaleza son tales, que es posible para los científicos aprender algo acerca de ésta en un tiempo razonablemente breve. Véanse las Págs. 59–64 para una discusión del principio de la uniformidad.

KERMACK, K. A., 1956, Species and mutations: Systematics Assoc., London, Pub. no. 2, pp. 101–103. "Nuestra justificación para las especies creadas, las mutaciones, etc., en la paleontología es solamente de conveniencia práctica: las categorías en sí mismas son las hechas por el hombre y artificiales."

KHAIN, VIKTOR EFIMOVICH, 1958, Nekotorye filosofskiye voprosy sovremennoy geologii (Some philosophic questions of modern geology): Nauchnye Doklady Vysshei Shkoly, Filosofskiye Nauki, vol. 2; Moskva, pp. 148–161. Los científicos soviéticos aproximan cada cuestión teórica desde el punto de vista del materialismo dialéctico; cada concepto geológico en la ciencia soviética sigue la idea de una evolución dirigida e irreversible.

2—1961, Lomonosov i sovremennaya geologiya (Lomonosov and modern geology): Sovet. Geol., vol. 12, pp. 14–28. Desde el fin de la Segunda Guerra Mundial, la geología ha tendido a cambiar de una ciencia descriptiva a una explicatoria cuyo propósito es descubrir las leyes básicas de la evolución del planeta Tierra y en particular de la corteza terrestre.

KING, CLARENCE, 1877, Catastrophism and evolution: Am. Naturalist, vol. 11, pp. 449–470. "Los hombres ya nacen catastrofistas o uniformistas. Usted puede dividir a la raza en pueblos imaginarios quienes creen en todo tipo de crisis amenazantes —físicas, sociales, políticas— y otros quienes sujetan sus propias conciencias a un *in status quo.*"

KING, LESTER CHARLES, 1953, Canons of landscape evolution: Geol. Soc. Am., B., vol. 64, no. 7, pp. 721–752. "Hay una homología general entre todos los paisajes epigénicos."

2—1957, The uniformitarian nature of hillslopes: Edinburgh Geol. Soc., Tr., vol. 17, pt. 1, pp. 81–101. "... la forma en que evoluciona una pendiente de ladera es esencialmente uniformista en todo dominio climático fuera de las zonas frígidas y de los desiertos erg."

KITTS, DAVID B., 1963, Historical explanation in geology: J. Geol., vol. 71, pp. 297–313.

KOBAYASHI, TEIICHI, 1944, Concept of time in geology: Imp. Acad. Tokyo, Pr., vol. 20, no. 7, pp. 475–478 (On the major classification of the geological age.); no. 10, pp. 742–750 (An instant in the Phanerozoic Eon and itbearing on geology and biology.); pts. 1 and 3 in a series of articles. "El tiempo ... puede clasificarse en dos clases principales, una con contenido histórico y la otra sin él. En esta última, el tiempo es abstracto, absoluto, objetivo y físico y en la primera es concreto, relativo, subjetivo e histórico. La *edad geológica* y la *cronología* pertenecen a una y a otra clases, respectivamente ..."

KOBER, LEOPOLD, 1946, Geo-Logismus: Geog. Ges. Wien, Mitt. vol. 89, no. 1–6, pp. 3–7. "Absolute kosmo-geo-logische Wahrheit aller Evolution der Erde ist der Geo-Logismus: die Vergeistigung der Natur in Menschen. Der Mensch ist das Mittel der Natur, sich selbst zu erkennen."

KOCH, LEO E., 1949, Tetraktys; the system of the categories of natural science and its application to the geological sciences: Australian J. Sci., vol. 11, no. 4, suppl., 31 pp. "Este método de la aplicación del Tetraktys coincide con la doctrina de Aristóteles ... en la cual un sistema de categorías de una naturaleza muy elemental es la base necesaria para *cualquier* definición científica."

KRUMBEIN, WILLIAM CHRISTIAN, 1960, The "geological population" as a framework for analysing numerical data in geology: Liverpool and Manchester Geol. J., vol. 2, pt. 3, pp. 341–368. El análisis estadístico puede aplicarse a clases y agregados de objetos y acontecimientos geológicos, con los fines de derivar inferencias y hacer predicciones. (Con bibliografía anotada.)

2—1962, The computer in geology; quantification and the advent of the computer open new vistas in a science traditionally qualitative: Science, vol. 136, no. 3522, pp. 1087–1092. "El aspecto actual, dominantemente empírico, de muchos análisis de datos en la geología no es perturbador en una ciencia donde la mayor parte del esfuerzo ... debe ser aún dirigido hacia una búsqueda de los controles y respuestas en una trama de datos intrincadamente entrelazados."

KRYNINE, PAUL DIMITRI, 1951, A critique of geotectonic elements: Am. Geophys. Union, Tr., vol. 32, no. 5, pp. 743–748. "... parece que el principio clásico de la descripción y la clasificación de las formas terrestres como es introducido por W. M. Davis —los conceptos para describir las formas terrestres en función de *estructura*, de *proceso* y de *etapa*— podría ser aplicado fructíferamente a la clasificación de los elementos geotectónicos. Esta generalización poderosa del inmortal Davis es, en realidad, el gran solvente y disolvente: no significan lo mismo 'solvente universal' de la geología y ningún tema de las ciencias terrestres contiene problemas que no puedan someterse a este método, a condición de que se logren reunir los datos adecuados."

KUENEN, PHILIP HENRY, 1958, Experiments in geology: Geol. Soc. Glasgow, Tr., vol. 23, pp. 1–28. "En cierto sentido los procesos actuales muestran una relación experimental a la geología histórica y a la investigación de las rocas antiguas ... Entonces ... el 'presente como llave al pasado' es una máxima manchada experimentalmente."

KULP, JOHN LAURENCE, 1961, Geologic time scale; Isotopic age determinations on rocks of known stratigraphic age define an absolute time scale for earth history: Science, vol. 133, no. 3459, pp. 1105–1114.

KUMMEROW, EGMONT, 1932, Die aktualistische Methode in der Geologie: Deut. Geol. Ges., Zs., vol. 84, pp. 563–565. "Der Grundsatz des Aktualismus besitzt keine uneingeschränkte Gültigkeit. Er lässt sich auf periodische Vorgänge im allgemeinen nicht anwenden. Die Gegenwart ist um so weniger geeignet, für alle Kräfte und Vorgänge der Vergangenheit Beispiele zu liefern, als sie keine normale Warmzeit, sondern eine glaziale Ausnahmezeit darstellt."

LADD, HARRY STEPHEN, 1957, Introduction, and Paleoecological evidence, Chapters 1 and 2, pp. 1–66, *in* Treatise on marine ecology and paleoecology, vol. 2, Paleoecology (H. S. Ladd, ed.): Geol. Soc. Am., Mem. 67. Describe la naturaleza del registro paleontológico y explica cómo los ambientes marinos antiguos son reconstruidos sobre la base de la evidencia paleontológica y litológica.

LAHEE, FREDERIC HENRY, 1909, Theory and hypothesis in geology: Science, n.s., vol. 30, pp. 562–563. "El concepto erróneo de la necesidad de la unión de la causa puede ser una consecuencia de la doctrina de la uniformidad. Pero la uniformidad, no es sinónimo de simplicidad, como tampoco la complejidad es sinónimo de caos."

LAIRD, JOHN, 1919, The law of parsimony: Monist, vol. 19, no. 3, pp. 321–344. "La complejidad del universo nunca puede ser simplificada si no existe... Por lo tanto, puede concebirse que la ley de la economía es ni más ni menos que una regla de dirección que establece que siempre debemos seleccionar lo más simple de cualquiera de las proposiciones generales que pueden ser verdaderas y averiguables, puesto que estas veracidades son probablemente las únicas que puedan ayudar a la mente a hacer descubrimientos ulteriores. Esta regla señala la senda del sentido común en vista de los poderes y objetivos limitados de la mente."

LAKE, PHILIP, 1930, The centanary of Lyell's Principles of Geology: Geol. Mag., vol. 67, pp. 433–436. "Cada actitud de la mente tiene sus propios peligros, y el peligro principal de la actitud uniformista es que la mente puede cerrarse a las nuevas ideas... Sin embargo, por ahora no es muy necesario insistir sobre los peligros de la actitud del uniformismo. No hay nada uniformista en las teorías geológicas de la posguerra y tenemos tantas que es difícil que no mantengamos abierta nuestra mente. Mientras tanto, la geología progresa a pesar de las teorías."

LAMONT, ARCHIE, 1944–1945, Geology in literature: Quarry Managers' J., vol. 27, pp. 555–560, 567; vol. 28, pp. 28–31, 77–79, 121–127, 194–202, 287–291, 365–369, 405–407, 439–441, 495–499, 551–554. Ilustra, con muchas citas, el impacto de las ideas geológicas en la literatura. "La geología es, *par excellence* la ciencia que trata de la repetición de los mismos acontecimientos acaecidos en épocas ampliamente separadas." .

LANE, ALFRED CHURCH, 1906, The geologic day: J. Geol., vol. 14, pp. 425–429. "El tiempo es medido por los cambios, y los cambios... deben progresar de punto a punto... siempre hay un ritmo de progreso que es medible y cualquier intervalo debe ser marcado por cierta etapa en el cambio y así comenzar en forma diferente en diferentes puntos."

LASKY, SAMUEL GROSSMAN, 1947, The search for concealed deposits—a reorientation of philosophy: Am. Inst. Min. Met. Eng., Tech. Pub. 2146, Mining Tech., vol. 11, no. 3, 8 pp. "En vez de buscar información que indique la probable presencia de un criadero de minerales, debemos buscar... el equilibrio y el ajuste de los hechos observados y así descubrir dónde podría encontrarse el criadero. En otras palabras, la geología necesita ser sólo permisiva en vez de definitivamente indicativa."

LAUNAY, LOUIS DE, 1922, La science géologique, ses méthodes, ses résultats, ses problèmes, son histoire: Paris, Armand Colin, 3d. ed., viii and 775 pp. Un examen de la metodología geológica y la evolución de las ideas geológicas.

LAUTERBACH, ROBERT, 1957, Paläogeophysik, *in* Geol. u. Geophys. (Karl-Marx-Univ., Geol. u. Pal. Inst.), pp. 57–66.

LECLERQ, RENÉ, 1960, Histoire et avenir de la méthode expérimentale: Paris, Masson, 138 pp. "La recherche des puits de pétrole par l'examen géologique du sol est devenue courante. Ce n'est qu'un cas particulier de la méthode qui consiste à prévoir una allure de stratification ou une couche déterminée à un endroit précis à partir de la connaissance de la géologie d'une region. On émet une hypothèse en se fondant sur des observations et on la vérifie par une autre observation."

LE CONTE, JOSEPH, 1900, A century of geology: Pop. Sci. Monthly, vol. 56, pp. 431–443, 546–556. "La idea fundamental que subyace al pensamiento geológico es la historia de la Tierra."

LE GRAND, HARRY E., 1962, Perspective on problems of hydrogeology: Geol. Soc. Am., B., vol. 73, pp. 1147–1152. "La investigación matemática en relación con la síntesis de los elementos de la geohidrología indica alguna promesa, pero tiende a languidecer cuando se encara con un caleidoscopio de condiciones hidrológicas causadas por las heterogeneidades de la geología."

LENZEN, VICTOR F., 1955, Procedures of empirical science: Int. Encyc. Unified Sci., vol. 1, pt. 1, Chicago, Univ. Chicago Press, pp. 280–339. "Una etapa en las investigaciones de las correlaciones de acontecimientos es la determinación de sucesiones temporales. La historia de los acontecimientos políticos, la geología histórica y la paleontología son arreglos de acontecimientos en un orden temporal. La ciencia en la forma de historia sistematiza las observaciones de los acontecimientos ajustándolos dentro de esquemas de la evolución del cosmos, de la vida y de la sociedad."

LEOPOLD, LUNA B., and LANGBEIN, WALTER B., 1962, The concept of entropy in landscape evolution: U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 500-A, 20 pp. "...creemos que el concepto de la entropía y el estado más probable suministra una concepción matemática básica que trata con las relaciones del tiempo y del espacio. Su elaboración puede suministrar un instrumento por el cual las distintas premisas filosóficas que caracterizan a la geomorfología pueden estar sujetas a una prueba crítica."

LINTON, DAVID LESLIE, 1948, The ideal geological map: Adv. Sci., vol. 5, no. 17, pp. 141–149. Los símbolos de la cartografía geológica requerirán una tipificación a escala internacional para que los mapas geológicos en su totalidad sean inteligibles a todos los geólogos. La selección para los símbolos del color ha sido determinada en forma variada por el "principio del horizonte característico" (los colores fuertes para formaciones índice), por la asociación de ideas (rojo encendido para las rocas volcánicas), por el "principio de la coloración asociativa" (es decir, rojo para la arenisca Roja Antigua) y con referencia al espectro arbitrariamente seleccionado para indicar las edades relativas de las rocas. Existe una mayor diversidad y confusión en el conjunto de las letras y números índices —que pueden ser consecutivos, no consecutivos o híbridos— usados para designar las unidades cartográficas.

LOEWINSON-LESSING, FRANTS YULEVICH, 1954, A historical survey of petrology (Translated from the Russian by S. I. Tomkeieff): London, Oliver and Boyd, vi and 122 pp. "Hay un principio fundamental y primordial que yace en la base de la petrología. Este principio apenas se percibió en el nacimiento de la geología y petrología modernas y desde aquel entonces, su concepción ha crecido y se ha extendido constantemente. El principio se refiere a la evolución o cambio gradual a que está sujeta toda roca desde el mismo momento de su formación."

LOSSKIY, NIKOLAI ONUFRIEVICH, 1956, Organicheskii aktualizm Bergsona (Organic actualism of Bergson) *in* An introduction to philosophy, Chapter XX, pp, 190–198: Frankfurt a. M., Possev. El actualismo es un concepto filosófico para el cual el mundo consiste de acontecimientos y procesos que aparecen y desaparecen con el tiempo.

LUCIUS, MICHEL, 1957, Les principes fondamentaux de travail et de recherche en géologie: Soc. Nat. Luxembourg, B., n.s., vol. 49, no. 60, pp. 141–143. "Mais le principe d'actualisme n'est pas toujours apparent. Nous ne voyons pas se former aujourd'hui du granite, des schistes cristallins. Dans la nature, les deux états extrèmes d'un même phénomène peuvent ètre si différents, qu'il n'apparait, à première vue, aucune connexion entre eux. Mais si on trouve une suite d'états intermédiaires entre les deux extrèmes, on peut admettre un état original identique. C'est le principe des *états intermédiaires*."

LYELL, CHARLES, 1830, Principles of geology, being an attempt to explain the former changes of the earth's surface, by reference to causes now in operation, vol. 1: London, John Murray, 511 pp. "Nuestra estimación... del valor de toda evidencia geológica... depende enteramente del grado de seguridad que sentimos en relación a la permanencia de las leyes de la naturaleza. Su sola constancia inmutable puede habilitarnos para razonar por analogía, por las reglas estrictas de la inducción, respecto de los acontecimientos que ocurrieron en las primeras edades."

MACGREGOR, ALEXANDER MIERS, 1951, Some milestones in the Precambrian of Southern Rhodesia: Geol. Soc. S. Africa, Pr., vol. 54, pp. xxvii-lxvi. "Al ocuparnos de las rocas que se formaron cuando el mundo tenía menos de la mitad de su edad actual, se considera injustificada una adhesión estricta a la doctrina del uniformismo... Las rocas sedimentarias (las del Precámbrico más antiguo) tenían una composición mineralógica muy

cercana a la de las rocas ígneas, por lo que fueron muy dóciles a la granitización. El grado geotérmico probablemente era exorbitante. La corteza terrestre debe haber estado menos rígida... El vulcanismo era más activo de lo que es ahora ...El movimiento de rotación de la Tierra era más rápido y mucho más grandes las fuerzas de las mareas."

MCLACHLAN, DAN, JR., 1961, A guess as to what is science: Physics Today, vol. 14, no. 6, pp. 22–27. "Cuando una ciencia absorbe a otra... la actitud general de los científicos es la de aceptar que la nueva ciencia se ha construido bajo el cimiento firme de la antigua ciencia. Esto es lo que probablemente harían los físicos y los químicos para la geología..."

MCLAREN, DIGBY JOHNS, 1959, The role of fossils in defining rock units, with examples from the Devonian of western and Arctic Canada: Am. J. Sci., vol. 257, no. 10, pp. 734–751. "La geología depende completamente de un principio básico—aquel por el cual es posible interpretar la historia de la Tierra examinando las relaciones de posición de los cuerpos de roca y de minerales. La estratigrafía descansa primordialmente sobre un caso especial de este principio—las relaciones de posición de los cuerpos de rocas estratificadas, de las que se deriva la ley de la superposición."

MANLEY, GORDON, 1953, Climatic variation: Roy Meteorological Soc., Quart. J., vol. 79, pp. 185–209. (Reviews of modern meteorology No. 9) "El pronosticador del tiempo en un día de noviembre que considera que si el piso del Báltico se elevara lentamente formaría con más o menos rapidez una obstrucción en Lituania a causa de la creación de un nuevo manto de nieve, probablemente está tocando el problema de la alimentación de los casquetes de hielo del Pleistoceno. Sin embargo, la escala del tiempo es muy diferente. Y, a pesar de ello, este autor tiene la convicción de que en el presente puede buscarse la llave al pasado. El sinóptico hará bien en integrar algunos de sus hallazgos obtenidos en su trabajo diario, en un patrón más grande."

MARSH, OTHNIEL CHARLES, 1879, The history and methods of palaeontological discovery: Am. Assoc. Adv. Sci., Pr., vol. 28, no. 1880, pp. 1–42. "Si puedo aventurarme... a caracterizar el periodo presente en todas las ramas de la ciencia, su rasgo principal sería la *creencia en las leyes universales*."

MASON, STEPHEN FINNEY, 1953, Main currents of scientific thought: New York, Henry Schuman, viii and 520 pp.

MAYR, ERNST, 1951, Bearing of some biological data on geology: Geol. Soc. Am., B., vol. 62, no. 5, pp. 537–546. "En cuanto a lo que concierne a la paleontología, en años recientes se ha presentado un argumento inútil respecto al punto de si es una rama de la geología o de la biología. Por supuesto, la respuesta es que o pertenece a las dos o a ninguna."

2—1957, Species concepts and definitions, *in* The species problem. A symposium presented at the Atlanta meeting of the American Association of the Advancement of Science, Dec. 28–29, 1955: Washington, D.C., Am. Assoc. Adv. Sci., Pub. 50, pp. 1–22. "...el análisis de las especies probablemente estaría muy adelantado si pudiéramos penetrar términos empíricos como fenotípico, morfológico, genético, filogenético o biológico hasta los conceptos filosóficos esenciales. Un golfo profundo y quizá

muy extenso ha existido en las décadas recientes entre la filosofía y la biología empírica. Parece que el problema de las especies es un tópico en donde es posible la colaboración productiva entre los dos campos."

MELTON, MARK ALDRIDGE, 1958, Correlation structure of morphometric properties of drainage systems and their controlling agents: J. Geol., vol. 66, no. 4, pp. 442–460. "La variabilidad en cualquier ambiente natural es el producto de los acontecimientos en muchos periodos geológicos... Es absurdo discutir que esta variabilidad podría ser explicada totalmente alguna vez. La geología difiere de la física y de otras ciencias exactas en el tipo de la variabilidad encontrada así como en su cantidad... el concepto del universo aplicable a la geología y a la física, en consecuencia, es muy diferente; ... no existe sólo una 'opinión mundial' científica sino que hay dos o quizá muchas."

MERRIAM, JOHN CAMPBELL, 1921, The earth sciences as the background of history: Sci. Monthly, vol. 12, no. 1, pp. 5–7. "Nuestras contribuciones científicas más grandes al estudio de la historia y de los orígenes han llegado a través de las investigaciones geológicas y biológicas. La geología es la más grande de todas las ciencias históricas."

MILLER, BENJAMIN LE ROY, 1941, Geology and the allied sciences: Pennsylvania Acad. Sci., Pr., vol. 15, pp. 82–89. "...las principales razones para la investigación geológica deben ser las económicas."

MILLER, HUGH, 1939, History and science; a study of the relation of historical and theoretical knowledge: Berkeley, Univ. of California Press, x. and 201 pp. "Así la naturaleza todavía se considera como historia pura, en la historia humana y como estructura pura en la teoría fisicoquímica; y la biología y la geología permanecen solas en la síntesis de los principios históricos y teóricos. Mientras que cada uno menciona la evolución universal, la presencia del carácter evolutivo es admitida realmente sólo en algunas ramas de las ciencias biológica y geológica; y aun aquí el propósito dominante es, a menudo, una reducción del cambio histórico a la ley estructural, como si Darwin nunca hubiese vivido y enseñado."

MILLER, JOHN PRESTON, 1959, Geomorphology in North America: Przeglad Geograficzny, Warsaw, vol. 31, no. 3–4, pp. 567–587. "Como todas las otras fases de la geología histórica, la historia geomórfica está basada finalmente en el Principio del Uniformismo. Esta idea, de que 'el presente es la llave al pasado' implica únicamente que los mecanismos de la física y la química han sido constantes en especie, pero reconoce que sus magnitudes y ritmos pueden haber variado. En cualquier caso, la interpretación de la historia supone un conocimiento adecuado del presente. Contra la creencia de Davis y sus seguidores, de que el proceso era conocido o podía ser inferido, la opinión que prevalece hoy día sostiene que el conocimiento de los procesos actuales y sus productos es tan deficiente que las inferencias acerca de la historia geomórfica se apoyan pesadamente sobre suposiciones no comprobadas."

MILLHAUSER, MILTON, 1954. The scriptural geologists, an episode in the history of opinion: Osiris, vol. 11, pp. 65–86. "La estratigrafía y la paleontología no solamente han establecido las precondiciones para una teoría biológica semejante a la de Darwin; sino que en sus días produjeron un impacto revolucionario en la mente del pueblo."

MILNE, EDWARD ARTHUR, 1935, Some points in the philosophy of physics; time, evolution and creation: Smithsonian Inst., Ann. Rept., 1933, pp. 219–238. "De esta manera, el mundo es un sistema continuo; cada partícula o nebulosa tiene una experiencia evolutiva pasada y futura, con una declinación como su meta final y, sin embargo, en conjunto, no puede decirse que el mundo está declinando. No es el mismo para el observador actual que para el de ayer, pero eternamente es el mismo."

MISES, RICHARD VON, 1951, Positivism, a study in human understanding: Cambridge, Harvard Univ. Press, vi and 404 pp. "... las diversas ciencias se distinguen por los *objetos* que tratan ... Si examinamos más detenidamente aquello acerca de lo cual los científicos individuales hacen enunciados concretos, encontramos que los objetos de las distintas ciencias pueden resumirse con una expresión común: toda proposición de una ciencia positiva se refiere a las acciones de los hombres y observadas por los hombres (Bridgman) ... Las ciencias naturales puramente descriptivas no constituyen una excepción ... aun cuando el geólogo solamente pueda decir lo que acontece si examina las rocas por medio del martillo y la barrena."

MITCHELL, RAOUL C., 1955, Changement de cadence des phénomènes géologiques: Cahiers Géol., Seyssel, no. 33, pp. 331–334. El principio de la uniformidad debe enmendarse para permitir las variaciones en el ritmo al que han actuado los procesos geológicos durante el pasado.

MOORE, RAYMOND CECIL, 1948, Stratigraphical paleontology: Geol. Soc. Am., B., vol. 59, no. 4, pp. 301–326. "... la paleontología estratigráfica es sinónima con la misma paleontología, vista con los ojos de un geólogo, mientras que la llamada paleontología sistemática comprende en parte una aproximación puramente biológica, sin referencia a la geología excepto para el arreglo de los fósiles en un orden de sucesión cronológica."

2—1949, Meaning of facies: Geol. Soc. Am., Mem. 39, pp. 1–34. "...muchos rasgos de la historia geológica no podrán aprenderse nunca porque nunca fueron incorporados al registro de las rocas. También son partes reales de la historia terrestre pero acontece que no han dejado huella alguna ... es obvio que la historia geológica de ninguna manera está circunscrita a lo que pensamos que sabemos acerca de ella."

3—1955, Invertebrates and geologic time scale, pp. 547–574 *in* Arie Poldervaart, ed. Crust of the earth (a symposium),: Geol. Soc. Am., Spec. Paper 62, viii and 762 pp. "La Ley de la Superposición, elemental pero fundamental, de la que el geólogo depende como una evidencia indispensable de la edad relativa de los depósitos sedimentarios en los que las capas están tendidas una sobre otra, podría ser formulada por el razonamiento, sin hacer estudios previos en el campo. Por otro lado, la naturaleza de los conjuntos de fósiles en cualquier capa dada, no está sujeta a predicción, al menos si no existe de por medio una vasta experiencia."

MORRISON, R. B., GILLULY, JAMES, RICHMOND, G. M., and HUNT, C. B., 1957, In behalf of the Recent: Am. J. Sci., vol. 255, pp. 385–393. "... el tiempo ... geológico es subdividido sobre una base subjetiva puramente arbitraria, principalmente por convenir a la clasificación de las formaciones y, además, dependiendo de la cantidad de detalle reconocido en el registro litoestratigráfico. La duración nunca ha sido un factor determinante al definir las unidades cronológicas, lo mismo que el espesor nunca lo ha sido para definir las formaciones u otras unidades litoestratigráficas."

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M.G.

MOULTON, FOREST RAY, 1929, Thomas Chrowder Chamberlin as a philosopher: J. Geol., vol. 37, pp. 368–379. "Los métodos de la ciencia, al igual que los estilos en las modas, aparecen en forma periódica. En un periodo, la moda se inclina por atribuir una gran importancia a la acumulación de datos observacionales relegándose cualquier intento de interpretarlos ... En el extremo opuesto, la moda es el apresuramiento por construir teorías, una tras otra, para explicar cada uno de los nuevos fenómenos observados ... la moda durante los periodos de investigación frenética cuando la prioridad es mucho más apreciada que la verdad y la permanencia."

MÜLLER, ARNO HERMANN, 1951, Grundlagen der Biostratonomie: Deut. Akad. der Wiss., Berlin, Abh., Kl. Math. u. allgem. Naturwiss., Jg. 1950, Nr. 3, 147 pp. Al procurar reconstruir las sucesiones de acontecimientos que han conducido a la conservación de los restos orgánicos como fósiles, la bioestratonomía emplea el principio del actualismo.

MUNITZ, MILTON KARL, 1957, Space, time and creation, philosophical aspects of scientific cosmology: Glencoe, Ill., The Free Press and The Falcon's Wing Press, x and 182 pp. "... el Principio Cosmológico Perfecto, del mismo modo que el Principio de la Uniformidad de la Naturaleza, no funciona, de ninguna manera, como un juicio verdadero, capaz de servir como premisa en un argumento, sino como una definición que funciona como un criterio o una regla de lo que en el lenguaje de la ciencia puede considerarse como una ley."

MURCHISON, RODERICK IMPEY, 1839, The Silurian System, pt. 1: London, John Murray, 576 pp. "... mientras me alegro por lo que podría llamar el 'método Lyelliano' de comprobación de los fenómenos geológicos por las analogías modernas, no creo en la doctrina que dice que las dislocaciones actuales son producidas por causas del mismo grado de *intensidad* como aquellas cuya prueba ofrece la geología. Siempre soy de la opinión de que, aunque puedan pertenecer a la misma clase, la catástrofe geológica (como el *volcamiento de una cadena montañosa*) y un sismo moderno no pueden ser colocados lado a lado sin que exclamemos *'sic parvis componere magna'*."

NAGEL, ERNEST, 1952, Some issues in the logic of historical analysis: Sci. Monthly, vol. 74, pp. 162–169. "La diferencia entre historia y ciencia teórica es ... análoga a la diferencia entre la diagnosis médica y la fisiología o entre la geología y la física. Por ejemplo, un geólogo pretende descubrir el orden de sucesión de formaciones geológicas y es capaz de hacerlo aplicando varias leyes físicas a los materiales que encuentra; no es la tarea del geólogo, *qua* geólogo, establecer las leyes de la mecánica o las de la desintegración radiactiva que puede emplear."

NEWELL, NORMAN DENNIS, 1956, Catastrophism and the fossil record: Evolution, vol. 10, no. 1, pp. 97–101.

2—1959, The nature of the fossil record: Am. Phil. Soc., Pr., vol. 103, no. 2, pp. 264–285. "La exploración paleontológica del pasado es un procedimiento basado en el muestreo en el que las estimaciones provisionales del conjunto se hacen de pequeñas muestras, generalmente parciales."

3—1959, Adequacy of the fossil record: J. Paleont., vol. 33, no. 3, pp. 488–499. "... las limitaciones del registro fósil no se deben tanto a la pobreza de la conservación o a una cantidad insuficiente sino más bien a una colección reducida y a un método ineficaz en la preparación de los fósiles."

4—1962, Paleontological gaps and geochronology: J. Paleont., vol. 36, no. 3, pp. 592–610. "... los sistemas, series y pisos geológicos, en el último análisis, son unidades de extensión universal que se encuentran definidas e identificadas por medio de sus fósiles. La escala del tiempo basada en ellos en ningún sentido es subjetiva o arbitraria."

NICHOLSON, HENRY ALLEYNE, 1872, Contemporaneity of strata and the doctrine of geological continuity: Canadian J., n.s., vol. 13, pp. 269–281. "... en la medida que podemos juzgar a partir de los hechos conocidos de la actual distribución de los seres vivientes, la repetición de exactamente los mismos fósiles en capas muy lejanas entre sí es la evidencia de la *prima facie* de que los estratos *no* son exactamente contemporáneos; sino que ellos se suceden uno a otro en cuanto al tiempo, aunque no por un largo intervalo geológicamente hablando."

NIGGLI, PAUL, 1949, Probleme der Naturwissenschaften, erläutert am Begriff der Mineralart: Basel, Birkhäuser, Wissensch. u. Kultur, vol. 5, xii and 240 pp. "Die Natur ist also nach gewissen Grundprinzipien *gestaltet*, und es ist diese *Gestaltung* und *Gliederung*, die trotz der offensichtlichen 'Unerschöpflichkeit' den Versuch der Naturerkenntnis zu keinem hoffnungslosen Beginnen stempelt."

NÖLKE, FRIEDRICH, 1937, Astronomie und Geologie: Deut. Geol. Ges., Zs., vol. 89, no. 3, pp. 167–175. Las hipótesis astronómicas como aquellas relacionadas con la declinación secular de la radiación solar y con la emigración de la órbita lunar que aleja a la Luna de la Tierra, tienen implicaciones importantes para la historia geológica, es decir, para los climas más calientes y las mareas más fuertes del pasado geológico.

NOLAN, THOMAS B., 1962, Role of the geologist in the national economy: Geol. Soc. Am., B., vol. 73, no. 3, pp. 273–278. Para los problemas en los que se implica la prosperidad de las naciones, el geólogo podría aplicar en forma útil los hábitos de pensamiento impregnados por la práctica de su ciencia. Estos incluyen la tendencia a pensar en tres dimensiones, el uso casi instintivo de la cuarta dimensión: el tiempo, una apreciación de lo inevitable del cambio y una aceptación de la variedad de materiales naturales que yacen debajo de la superficie de la Tierra.

NORTH, FREDERICK JOHN, 1933, From Giraldus Cambrensis to the geologic map, the evolution of a science: Cardiff Naturalists' Soc., Rept. and Tr., vol. 64, pp. 20–97. "El espíritu cauteloso evidente en las conferencias de Kidd fue también compartido por aquellos quienes fundaron la Geological Society of London, cuyo principal propósito se centró en observar y registrar; más adelante se sintieron desalentados cuando intentaron resolver problemas que no podían solucionar hasta no contar con una información más útil y no tuvieron nada que hacer con hipótesis semejantes a aquellas que fueron tan prolíficas en el siglo pasado. Esta actitud afectó profundamente el curso de la investigación geológica la cual consistió por muchos años únicamente en la colección y en la clasificación de especímenes y de hechos."

2—1934, From the geological map to the Geological Survey, Glamorgan and the pioneers of geology: Cardiff Naturalists' Soc., Rept. and Tr., vol. 65, pp. 41–115. "No puede considerarse a la geología como una ciencia exacta, pues, por la naturaleza de las cosas, lo desconocido siempre debe pre-

sentarse en un grado mayor que lo conocido. Nunca podremos esperar examinar más que una porción demasiado reducida de las rocas de la corteza terrestre y todos los fósiles que podamos desenterrar representarán una parte infinitamente pequeña de toda la manifestación imponente de la vida."

ÖPIK, ERNST JULIUS, 1954, The time scale of our universe: Irish Astron, J., vol. 3, no. 4, pp. 89–108. "Nosotros seremos guiados por el principio de la hipótesis del mínimo esfuerzo o de la economía del pensamiento, el cual requiere que no se utilicen las nuevas leyes de la Naturaleza para la explicación de los fenómenos que pueden aclararse por medio de las leyes conocidas."

ORCEL, JEAN, 1954, Essai sur le concept d'espèce et les classifications en minéralogie et pétrographie: Soc. Franç. Minér. Crist., B., vol. 77, pp. 397–432. La evolución del concepto de especies minerales refleja una interacción de descubrimientos y de ideas desarrolladas en la cristalografía, en la química y en la mineralogía. De acuerdo con el actual concepto, las especies minerales son diferenciadas principalmente en base a dos criterios: la estructura cristalina determinada por la refracción de los rayos X y la composición química.

OSBORN, HENRY FAIRFIELD, 1904, The present problems of paleontology: Pop. Sci. Monthly, vol. 66, pp. 226–242. "Así como el método del uniformismo de Lyell transformó a la geología, así el método uniformista está penetrando a la paleontología y las observaciones hechas sobre la vida vegetal y animal, de acuerdo con el actual estado de cosas, son la base del entendimiento de la vida de estos seres, por decirlo así, desde el comienzo."

PAGE, DAVID, 1863, The philosophy of geology; a brief review of the aim, scope and character of geological inquiry: Edinburgh, William Blackwood and Sons, ix and 160 pp. "De esta manera, la filosofía de nuestra ciencia es creer en la fijeza y uniformidad de las operaciones de la Naturaleza y bajo esta creencia regular todos nuestros métodos y ordenar nuestros resultados."

PARKS, WILLIAM ARTHUR, 1925, Cultural aspects in geology: Nature, vol. 116, no. 2916, pp. 432–435. "... han surgido fuertes dudas acerca del uniformismo desde los puntos de vista inorgánico y orgánico. Hay cierta tendencia a dar un mayor énfasis al concepto de un catastrofismo muy moderado expresado variadamente como ritmo, diastrofismo, etc."

2—1928, Some reflections on paleontology: Geol. Soc. Am., B., vol. 39, pp. 387–402. "... la tendencia moderna ha llegado a considerar al factor tiempo como el *motivo* de la geología —es decir, considera a la geología, desde el principio, como historia. Nosotros hablamos ... más y más de las sucesiones de eventos en el tiempo."

PASSENDORFER, EDWARD, 1950, O zasadzie aktualizmu w geologii (na margines ie ksiazki L. Cayeux, "Causes anciennes et causes actuelles en géologie"): Wiadomósci Muz. Ziemi (Polish Geol. Mag.), vol. 5, no. 1, pp. 63–70. "... les phénomènes géologiques anciens sont dus aux mêmes causes, agissant selon les mêmes lois qu'aujourd'hui. Les mêmes causes dans les mêmes conditions donnent les mêmes effets."

PENCK, WALTHER, 1953, Morphological analysis of land forms (Translated from the German by Hella Czech and Katherine Cumming Boswell): London, Macmillan, xiv and 429 pp. "Este estado de cosas forma la sustancia de la ley fundamental de la morfología: el modelado de la superficie de la Tierra es determinado por la relación de la intensidad de lo endogenético a lo exogenético del desplazamiento del material."

PIATNITZKY, P. P., 1939, Sur les défauts de la terminologie du Précambrien: Int. Geol. Cong., 17th., U.S.S.R., Rept., vol. 2, pp. 15–24. Muchos de los nombres dados a los sistemas geológicos situados abajo de la base del Cámbrico son ambiguos, ilógicos, subjetivos o de alguna otra manera no científicos.

PLAYFAIR, JOHN, 1802, Illustrations of the Huttonian theory of the earth: Edinburgh, Cadell and Davies, and William Creech (Facsimile reprint with an introduction by George W. White, Urbana, Univ. of Illinois Press, 1956, xix, xx and 528 pp.). "Todo río parece consistir de un tronco principal alimentado por una variedad de ramales, cada uno con un curso en un valle proporcional a su tamaño y todos forman un sistema de valles que se comunican entre sí y que están ajustados sutilmente a sus declividades en tal forma que ninguno se une al valle principal a un nivel ni demasiado alto ni demasiado bajo, una circunstancia que sería infinitamente improbable si cada uno de estos valles no representara el trabajo hecho por la corriente que fluye por él."

POINCARÉ, HENRI, 1913, The foundations of science (Translated by George Bruce Halsted) *in* Science and Education, a series of volumes for the promotion of scientific research and educational progress, J. McKeen Cattell, ed., v. 1: New York, Science Press, 553 pp. "Con frecuencia se dice: ¿Quién sabe si las leyes no evolucionan y si nosotros un día no descubriremos que en el Carbonífero no fueron lo que son ahora? ¿Qué es lo que debemos entender con esto? Pensamos que con lo que sabemos acerca del estado pasado de nuestro globo, deducimos su estado actual. ¿Y cómo hacemos esta deducción? Por medio de leyes conocidas supuestas ... De tal manera que si las leyes de la naturaleza no fueron las mismas en el Carbonífero que en el presente, nunca seremos capaces de saberlo, puesto que no podemos saber nada acerca de esta edad, solamente lo que deducimos a partir de las hipótesis de la permanencia de estas leyes."

POPOV, VLADIMIR IVANOVICH, 1940, Protiv morfologicheskikh ustanovok v geologii (Against morphological tendencies in geology): Sovet. Geol., no. 5–6, (May-June), pp. 167–172. La opinión de que la geología es básicamente una ciencia morfológica, dedicada al estudio de los rasgos estructurales externos y sus relaciones, no solamente inhibe el desarrollo de la ciencia sino que es contraria al principio dialéctico de Engels de "la lucha de lo opuesto."

POPPER, KARL RAIMUND, 1957, The poverty of historicism: London, Routledge and Kegan Paul, xiv and 156 pp. "... mientras las ciencias teóricas se interesan principalmente en encontrar y en comprobar leyes universales, las ciencias históricas dan por ciertas todas estas leyes y se interesan principalmente en encontrar y en comprobar enunciados singulares."

2—1959, The logic of scientific discovery: London, Hutchinson, 479 pp. "De esta manera estamos retrocediendo, a causa de nuestro concepto de la simplicidad ... hasta aquella regla o principio que nos impide tener cier-

ta indulgencia con las hipótesis adecuadas y las auxiliares: al principio de la parsimonia en el uso de las hipótesis."

POTONIÉ, ROBERT, 1957, Vom Wesen der Geschichte der Geologie: Germany, Geol. Landesanst., Geol. Jb., vol. 74, pp. 17–30. "Wir wollen in den Schriften der Geologen und Forscher blättern, welch sich in einem höheren Sinne um die Geschichte unserer Wissenschaft bemüht haben; nicht nur registrierend, sondern nach allgemeineren Erkenntnissen strebend, zu höheren Schluszfolgerungen."

PRUVOST, PIERRE, 1951, Les refuges de l'hypothèse en géologie, *in* Sciencies de la terre, XXI Cong. Internat. Phil. Sci., Paris, 1949: Paris, Hermann, pp. 3–39. Las hipótesis científicas, aunque nacen para morir, siempre hay una forma de mantenerlas en vigencia, perpetuadas en manuales, embebidas en la opinión popular, defendidas por la autoridad científica u ocultas en el lenguaje profano. En particular, las hipótesis geológicas pueden buscar refugio en el fondo del océano, en las profundidades de la Tierra o en los abismos del tiempo.

RAGUIN, EUGÈNE, 1951, Méthodes d'études des formations géologiques anciennes, *in* Sciences de la terre, XXI Cong. Internat. Phil. Sci., Paris, 1949: Paris, Hermann, pp. 17–28. El principio del actualismo es insuficiente para la reconstrucción de la historia Precámbrica. Están adquiriendo cada vez mayor utilidad en la explicación de los terrenos más antiguos, los estudios de la distribución espacial de las zonas metamórficas, el análisis estructural de las rocas ígneas, los estudios comparativos de las fajas orogénicas y las investigaciones geoquímicas.

RAMSAY, ANDREW CROMBIE, 1880, On the recurrence of certain phenomena in geological time: British Assoc. Adv. Sci., 50th Meeting, Rept., pp. 1–22. "... cualquiera que haya podido ser el estado del mundo mucho antes que comenzara la historia geológica tal y como la vemos ahora escrita en las rocas, todas las formaciones conocidas son tan recientes, comparativamente, en el tiempo geológico, que no hay razón para creer que fueron producidas bajo circunstancias físicas diferentes, ni en clase ni en grado, de aquellas con las que estamos ahora más o menos familiarizados."

RASTALL, ROBERT HERON, 1943, Terminology in the geological sciences: Nature, vol. 151, no. 3828, pp. 294–295. La declinación del interés popular por la geología es debida, en parte, "al volumen y complicación de la nomenclatura corriente actual ... Con mucho, la mayor parte de la dificultad surge de las actividades de los paleontólogos ... Se entiende, generalmente, que la paleontología moderna se supone que está fundada sobre líneas evolutivas, aunque realmente parece que la tendencia actual hacia los juicios quisquillosos y la multiplicación infinita de nuevos nombres es exactamente contraria al verdadero principio de la evolución ... Estos desarrollos modernos son debidos principalmente a los especialistas en museos que son personas con mentes con espíritu burocrático quienes consumen su tiempo intramuros, rodeados por montañas de monografías en vez de montañas de rocas y parecen deleitarse en complicarlo todo hasta donde les sea posible."

RAVIKOVICH, A. N., 1961, Uniformistskoye uchenie Layella i ego istoricheskie korni (Uniformitarian teaching of Lyell and its historical roots): Akad Nauk, SSSR, Inst. Geol., Ocherki po istorii geol. znanii, vol. 9, pp. 48–83. En el pensamiento uniformista, von Hoff y Hutton fueron los precursores de Lyell.

READ, HERBERT HAROLD, 1937, Certain aspects of metamorphic geology: Liverpool Geol. Soc. Pr., vol. 17, pt. 2, pp. 103–114. "Como el tiempo significa historia y en otro aspecto, vida, es la fase más fascinante de los estudios metamórficos. Algún día leeremos una historia larga y compleja cuando echemos un vistazo a una sección de rocas metamórficas y conoceremos hasta los menores episodios de su pasado oscuro y turbulento."

2—1943, Geology in the war and in the peace: Junior Institution of Engineers, London, J. and Record of Tr., vol. 53, pt. 7, pp. 179–187. "Cualquier persona que observe desde una ventana ve un laboratorio geológico en operación constante y a escala natural."

3—1957, The granite controversy: London, Thomas Murby, xix and 430 pp. "El estudio de la historia de cualquier clase depende de los documentos y de los registros. Para la historia de la corteza de la Tierra, los documentos son las rocas y su lectura e interpretación son comúnmente operaciones difíciles. Es verdad que para ciertas clases de rocas, formadas en la superficie de la Tierra, el método uniformista es válido y suficiente ... Pero muchas rocas importantes fueron claramente formadas en lo profundo de la corteza y ninguna llave uniformista puede dar libre acceso a sus secretos."

RENSCH, BERNHARD, 1960, The laws of evolution, pp. 95–116 *in* Sol Tax, ed., Evolution after Darwin, vol. 1: Chicago, Univ. of Chicago Press. Las leyes de la evolución son tres clases: leyes de la casualidad, leyes del paralelismo psíquico y leyes de la lógica.

RICHEY, JAMES ERNEST, 1952, Some aspects of geological research and their practical application: Adv. Sci., vol. 9, no. 34, pp. 122–133. "Un patrón de evidencia puede incluir una anomalía en la variancia de conclusiones aparentemente vitales alcanzadas en otros terrenos. Las anomalías pueden no constituir objeciones válidas para una conclusión: en una investigación ulterior pueden producirse y conformarse a la solución previa o resultar carentes de importancia. Por otro lado, el reconocimiento de las anomalías frecuentemente ha sido una fructífera fuente de descubrimientos en la geología como en otras ciencias."

RÍOS, JOSÉ MARÍA, 1962, Limitaciones y perfectibilidad permanente en la cartografía geológica. Problemas que plantean las técnicas modernas: Inst. Geol. y Minero de España, Notas y Comuns., no. 65, pp. 127–138. "Por mi parte me alegro mucho de poder participar aún de la época en que la cartografía geológica es un arte y no una fabricación, en que el geólogo es una persona y no una máquina."

ROBERTSON, THOMAS, 1956, The presentation of geological information on maps: Adv. Sci., vol. 13, no. 50, pp. 31–41. Los mapas geológicos no son representaciones gráficas reales de la Naturaleza. "Muy al comienzo de nuestras investigaciones de campo, extractamos de la geología en conjunto, el tema que seleccionamos para estudiar" y su tratamiento estará "basado sobre una teoría que relaciona la sucesión y estructura de las rocas" En el fluir alternativo de la inducción y de la deducción que sigue a la construcción de un mapa geológico, las deducciones son edificadas algu-

Biblioteca Municipal "Murilo Mendes"

nas veces sobre deducciones "hasta que una pirámide invertida de tamaño formidable se equilibra sobre una base muy pequeña."

RODGERS, JOHN, 1959, The meaning of correlation: Am. J. Sci., vol. 257, no. 10, pp. 684–691. "... en estratigrafía el término *correlación* debe y de hecho significa ordinariamente el intento por determinar las relaciones cronológicas entre los estratos ..."

ROEVER, W. P. DE, 1956, Some differences between post-Paleozoic and older regional metamorphism (with discussion): Geol. en Mijnbouw, vol. 18, no. 4, pp. 123–127. "Evidentemente no sólo existe una evolución de la vida durante la historia de la Tierra, sino también algún cambio en el carácter de las asociaciones mineralógicas metamórficas producidas durante las fases principales del metamorfismo regional de las varias épocas orogénicas."

ROGER, J.. 1961, La documentation en géologie: B. Biblio, Fr., vol. 6, no. 1, pp. 5–15. "Des progrès considérables ont été réalisés en géologie (au sens large) depuis une trentaine d'années dans les moyens et les techniques d'observations. Par contre, dans la plupart des domaines, les généralisations, les larges hypothèses, les théories n'ont pas sensiblement avancé et souvent ne sont conservées qu'en raison de l'absence de vues satisfaisantes. Cette situation est due ... pour une grande part à l'incapacité de réunir, dans un temps suffisamment court, une quantité considérable de données éparses dans une littérature énorme ou issues d'observations nouvelles qu'il fait souhaiter aussi abondantes et précises que possible."

ROMER, ALFRED SHERWOOD, 1949, Time series and trends in animal evolution, Chapter 7, pp. 103–120, *in* Glenn Lowell Jepsen, Ernst Meyr, and George Gaylord Simpson, eds, Genetics, paleontology, and evolution: Princeton, Princeton Univ. Press, xiv and 474 pp. "De tiempo en tiempo nos enfrentamos a teorías evolutivas teleológicas que generalmente han evolucionado en el gabinete del filósofo o en el estudio del teólogo, cuya base de acontecimientos evolutivos descansa sobre el 'designio' de una fuerza externa —una deidad o la 'Naturaleza'— o sobre algún misterioso 'impulso interior' del organismo o su protoplasma... En general, el paleontólogo puede disponer de teorías semejantes por la aplicación de la navaja de Occam."

2—1959, Vertebrate paleontology, 1908–1958: J. Paleont., vol. 33, no. 5, pp. 915–925. "...las divisiones entre las disciplinas tienden a desaparecer. La física se fusiona con la química; la química y la física con la biología y la geología; la paleontología, para los invertebrados así como para los vertebrados, salva el vacío entre la geología y la biología."

ROSSITER, *Mrs.* P. M., 1937, Basic for geology, Psyche Minatures, gen. ser. no. 90: London, Kegan Paul, Trench, Trubner, 164 pp. "Por ahora no hay peligro alguno respecto a que las teorías geológicas parezcan estar en contra de la verdadera religión, pues fuerzas tales como la *vis plastica* tendrán que elaborar las 'causas' de los efectos y quizá este peligro lo es menos aún que el de la palabra impresa la cual no logrará llegar a las manos de los trabajadores de lejanos países. El peligro a que se enfrentan los trabajadores de esta época es que la palabra impresa no tenga sentido cuando llegue a ellos."

RUSSELL, ISRAEL COOK, 1907, Concentration as a geological principle: Geol. Soc. Am., B., vol. 18, pp. 1–18. Uno de los resultados netos importantes de los cambios de la física y de la química que afectan a la Tierra a través de su historia geológica, ha sido la concentración de sustancias minerales que originalmente se encontraban muy diseminadas.

RUSSELL, RICHARD JOEL, 1958, Geological geomorphology: Geol. Soc. Am., B., vol. 69, no. 1, pp. 1–22. "Nunca antes la Tierra ha estado tan bien acorazada (por suelos y vegetación) contra los procesos del intemperismo y la erosión. Los efectos de este acorazamiento deben existir en los depósitos sedimentarios a un grado tal que los transforman en pequeños peligros que presionan demasiado sobre cualquier interpretación del pasado remoto basada en el presente."

RUTTEN, MARTIN GERARD, 1955, Mathematics in geology and the former extension of the Pre-Cambrian (with discussion): Geol. en Mijnbouw, vol. 17, pp. 192–193. "...cada fenómeno geológico es determinado por un número de variables casi inconmensurable, horripilante en su complejidad y en el número de sus interrelaciones. Toda fórmula que utiliza un número limitado de variables no es, por lo tanto, sino una simplificación extrema."

2—1957, Origin of life on earth, its evolution and actualism: Evolution, vol. 11, pp. 56–59. "Por supuesto, hubo en una época un periodo preactualista en la historia de la Tierra... Estas etapas primitivas se han llamado, a menudo, pregeológicas, aunque se prefiere llamarlas mejor etapas preactualísticas puesto que puede concebirse una historia geológica primitiva no actualista."

3—1962, The geological aspects of the origin of life on earth: Amsterdam, New York, Elsevier, vii and 146 pp. "... los descubrimientos de la geología están en completo acuerdo con las ideas biológicas modernas sobre el origen de la vida por medio de las causas naturales."

SAINT-SEINE, PIERRE DE, 1951, Les fossiles au rendez-vous du calcul, *in* Sciences de la terre, XXI Cong. Internat. Phil. Sci., Paris, 1949: Paris, Hermann, pp. 78–84. Aunque generalmente se considera como una ciencia descriptiva, la paleontología está adquiriendo rápidamente la capacidad para hacer predicciones.

SANDBERG, C. G. S., 1932, Der Grundsatz des Aktualismus und die Bestimmung gewisser Ablagerungen als glaziogene: Deut. Geol. Ges., Zs., vol. 84, pp. 636–641.

SCHÄFER, WILHELM, 1959, Elements of actuo-paleontology: Salt Marsh Conf. Pr., 1958, Univ. Georgia, Marine Inst., pp. 122–125. La actuogeología y la actuopaleontología están basadas sobre la observación directa de los acontecimientos. "Debido a que la acción se ubica en el presente, hay la posibilidad de experimentar. El resultado, en todos los casos, es el conocimiento de leyes independientes del tiempo que en manos del geólogo y del paleontólogo arrojan luz sobre los sucesos geológicos del pasado de nuestro globo terrestre y proporcionan un conocimiento profundo de la vida y muerte pretéritas sobre la Tierra y dentro de los ambientes de esta vida."

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO

SCHAUFELBERGER, P., 1952, Geologie und Bodenlehre: Neues Jb. Geol. u. Paläont., Mh., 1962, no. 4, pp. 179–203. Los recursos con que cuenta la pedología los obtiene de varias de las ciencias físicas y biológicas, pero la geología —en virtud de su interés por los problemas del intemperismo, en general— es la disciplina que coordina y unifica con propiedad las distintas aproximaciones a la ciencia del suelo.

SCHEIDEGGER, ADRIAN EUGEN, 1960, Mathematical methods in geology: Am. J. Sci., vol. 258, pp. 218–221. El método matemático es indispensable para probar la consistencia de las inferencias extraídas de series diferentes de datos geológicos.

SCHENCK, HUBERT GREGORY, 1961, Guiding principles in stratigraphy: Geol. Soc. India, J., vol. 2, pp. 1–10. Compara los hábitos originales y modernos afines a los conceptos de superposición, horizontalidad, continuidad original, uniformismo, sucesión faunal, estratos identificados por fósiles, unidades litoestratigráficas, unidades cronoestratigráficas y facies.

SCHINDEWOLF, OTTO HEINRICH, 1944, Grundlagen und Methoden der paläontologischen Chronologie: Berlin-Nikolassee, Gebrüder Borntraeger, 152 pp. Debido a que los fósiles, tomados en su orden natural de sucesión, registran un desarrollo evolutivo el cual es lineal e irreversible, la paleontología, por lo tanto, es la que suministra la base más segura para la cronología geológica.

2—1944, Über die Bedeutung der Paläontologie als geologische Grundwissenschaft: Reichsamt für Bodenforschung, Jb., vol. 63 (1942), pp. 629–676.

3—1948, Wesen und Geschichte der Paläontologie: Probleme der Wissenschaft in Vergangenheit und Gegenwart No. 9, Gerhard Kropp, ed.: Berlin, 108 pp. Como ciencia histórica, la paleontología ha proporcionado una base empírica para la teoría evolutiva en la biología moderna. Por el mismo motivo la paleontología es básica para la estratigrafía sistemática y desde luego para la geología en general.

4—1957, Comments on some stratigraphic terms: Am. J. Sci., vol. 255, no. 6, pp. 394–399. "Las rocas sedimentarias, por sí mismas... no han producido una marca cronológica específica que anule la antigua ley de la superposición la cual puede proporcionar indicaciones de edad relativas solamente en una forma restringida que resulta inadecuada para las correlaciones de la edad."

SCHNEER, CECIL JACK, 1960, History in science, Chapter 10, pp. 159–185 *in* The search for order; the development of the major ideas in the physical sciences from the earliest times to the present: New York, Harper, xvii and 398 pp. "El desarrollo de la ciencia geológica como ciencia *histórica*, dentro de la armazón más grande del crecimiento de la filosofía natural, tiene una importancia especial que sólo puede compararse con la evolución de la astronomía como una ciencia descriptiva."

SCHRÖDINGER, ERWIN, 1956, On the peculiarity of the scientific world view, pp. 178–228 *in* What is life? and other scientific essays: Garden City, N.Y., Doubleday, viii and 263 pp. "Este objeto, la idea vívida y llena de colorido de los acontecimientos pasados es ciento por ciento un ideal, simplemente... Por lo tanto, ¿debe omitirse y estudiarse solamente las obras póstumas reales...?

La idea no solamente es un instrumento lícito, sino también una meta... es difícil entender por qué lo que es evidente por sí mismo en las ciencias históricas debe pasar por herejía en las ciencias físicas, especialmente cuando se trata de acontecimientos y de situaciones que son inaccesibles a la observación directa. Las ciencias históricas hacen esto casi exclusivamente."

SCHUH, FRIEDRICH, 1937, Gedanken über die bei der tierischen Entwicklung hervortretenden Entwicklungsrichtungen: Paläont. Zs., vol. 19, no. 1–2, pp. 116–126. Desde un punto de vista evolutivo, el progreso es una serie de victorias psicoorgánicas sobre el mundo inorgánico.

SCHWINNER, ROBERT, 1943, Tst die Geologie wirklich eine "historische" Wissenschaft?: Neues Jb. Min., Geol., u. Paläont., 1943, Abt. B., no. 5, pp. 130–136. Se considera un error llamar a la geología una ciencia histórica. La historia trata exclusivamente con el hombre; la geología es una ciencia natural explicatoria.

SCRIVEN, MICHAEL, 1959, Explanation and prediction in evolutionary theory; Satisfactory explanation of the past is possible even when prediction of the future is impossible: Science, vol. 130, no. 3374, pp. 477–482. "La lección más importante que hay que aprender de la actual teoría evolutiva, es una lección negativa: la teoría nos demuestra que no es necesario hacer determinadas explicaciones científicas y en particular, que no se pueden considerar las explicaciones como poco satisfactorias cuando no contienen leyes o cuando no se les considera capaces de hacer que el acontecimiento en cuestión sea predecible."

2—1961, The key property of physical laws—inaccuracy, pp. 91–101 *in* Herbert Feigl and Grover Maxwell, eds., Current issues in the philosophy of science: New York; Holt, Rinehart and Winston, 484 pp. "El hecho más interesante acerca de las leyes de la naturaleza es que virtualmente se les considera a todas como erróneas. Y las pocas excepciones... parece que tienden a convertirse en casualidades antes de mucho tiempo... pero *representan* grandes verdades por cuyo motivo les perdonamos sus errores."

SCROPE, GEORGE JULIUS DUNCOMBE POULETT, 1958, The geology and extinct volcanos of central France, 2nd ed.: London, John Murray, xvii and 258 pp. "Los periodos, los cuales, a nuestra estrecha comprensión... parecen de una duración incalculable, con toda probabilidad son de poco valor en el calendario de la naturaleza. Es la geología, por sobre todas las otras ciencias, la que nos instruye acerca de este importante aunque mortificante hecho."

SEARES, FREDERICK HANLEY, 1938. The concept of uniformity, growth and reactions (Elihu Root lectures of Carnegie Institute of Washington on the influence of science and research on current thought): Carnegie Inst. Washington, Supp. Pub. 37, 50. pp. "La evolución... se mantiene como la ley de todas las leyes de la ciencia y de esta manera simboliza dos cosas que aquí interesan: la noción de la repetición penetrante y la regularidad en el mundo de los fenómenos —la *uniformidad de la naturaleza*— y el crecimiento de la noción de la uniformidad misma; en una palabra, el desarrollo de *la idea de que los fenómenos del mundo físico pueden describirse por medio de simples leyes.*"

SEDGWICK, ADAM, 1831, Address to the Geological Society, delivered on the evening of the 18th of February, 1831, on retiring from the President's Chair: Geol. Soc. London, Pr., 1826–1833, pp. 281–316. "...todos admitimos que las leyes primarias de la naturaleza son inmutables... y que solamente podemos juzgar sus efectos, que son del pasado, por los efectos que se contemplan en su progreso... Sin embargo, la suposición de que las combinaciones secundarias que surgen de las leyes primarias de la materia, han sido las mismas en todos los periodos de la Tierra, es... una hipótesis inexcusable con ninguna probabilidad *a priori* y solamente se sostiene por una apelación a los fenómenos geológicos."

SEEGER, RAYMOND JOHN, 1958, Scientist and theologian?: Washington Acad. Sci. J., vol. 48, no. 5, pp. 145–152. "...todas nuestras opiniones están basadas en la suposición fundamental de la uniformidad de la naturaleza y no solamente las de los científicos sino también las de los teólogos para quienes la seguridad es *sine qua non*."

SEMPER, MAX, 1911, Bemerkungen über Geschichte der Geologie und daraus resultierende Lehren: Geol. Rundschau, vol. 2, pp. 263–277. "Ausserdem ist es in der Geologie gar nicht möglich, sich auf die Wiedergabe von Beobachtungen zu beschränken. Jedes Profil enthält eine grosse Anzahl von Angaben, die auf Schlüssen, auf dem Zusammenwirken von Beobachtungen und theoretischen Elementen beruhen."

SEWARD, *Sir* ALBERT CHARLES, 1959, Plant life through the ages; a geological and botanical retrospect: New York, Hafner, xxi and 603 pp. "De ninguna manera se sigue que, a causa de que todas las especies vivientes de un género están confinadas ahora en áreas con ciertas variaciones de temperatura, las especies extintas, por lo tanto, idénticas casi con las vivientes, fueran susceptibles, igualmente, a los factores confinantes."

SHERLOCK, ROBERT LIONEL, 1922, Man as a geological agent; an account of his action on inanimate nature: London, H. F. and G. Witherby, 372 pp. "El recuerdo más permanente del hombre es un montón de escombros y por supuesto que aun eso está sentenciado a ser destruido."

SHOTWELL, JAMES THOMSON, 1949, Time and historical perspective, *in* Time and its mysteries, ser. 3, pp. 63–91: New York, New York Univ. Press "...aunque ocupamos todo el tiempo con números, lo hacemos sólo con el fin de encontrar cosas en él y saber dónde estamos cuando las encontramos... En suma, marcamos el Tiempo por los acontecimientos más que los acontecimientos por el Tiempo.

SHROCK, ROBERT RAKES, 1948, Sequence in layered rocks; a study of features and structures useful for determining top and bottom or order of succession in bedded and tabular rock bodies: New York, McGraw-Hill, xiii and 507 pp.

SIGAL, J., 1961, Existe-t-il plusieurs stratigraphies?: France, Bur. Rech. géol. et min., Serv. d'Inf. géol., B. (Chronique Mines d'Outre-mer, Suppl. no. 297) an. 13, pp. 2-5. Se hace la distinción entre la facioestratigrafía, la zonoestratigrafía, y la cronoestratigrafía como aspectos de la estratigrafía, cuyos intereses respectivos son el establecimiento de las columnas estratigráficas locales, la definición de unidades limitadas por superficies isócronas y el entendimiento de la historia de la Tierra.

SIMPSON, GEORGE GAYLORD, 1941, The role of the individual in evolution: Washington Acad. Sci., J., vol. 31, no. 1, pp. 1–20. "Cualquier cosa que suceda en la evolución orgánica o en realidad dentro del dominio de las ciencias biológicas, le sucede a un individuo."

2—1950, Evolutionary determinism and the fossil record: Sci. Monthly, vol. 71, pp. 262–267. "El registro fósil es consistente con la causalidad histórica que es un flujo continuo, no repetitivo y por lo tanto, esencialmente no predecible."

3—1950, The meaning of evolution, a study of the history of life and of its significance for man: New Haven, Yale Univ. Press, xv and 364 pp. "Era una costumbre afirmar que los juicios importantes no participan en la ciencia, aunque cada vez nos damos más cuenta de qué tan falso fue esto. La ciencia está entrelazada esencialmente con tales juicios y su misma existencia demanda un juicio importante y una ética esencial de que el conocimiento es bueno."

4—1960, The world into which Darwin led us: Science, vol. 131, no. 3405, pp. 966–974. La astronomía hizo inmenso al universo; la física y las ciencias afines lo hicieron válido. "A todos estos descubrimientos y principios, los cuales modificaron tanto los conceptos del cosmos, la geología añadió dos más de importancia fundamental para un mundo cambiante: la vasta extensión del universo en el tiempo y la idea de una progresión justa en el tiempo."

5—1960, The history of life, pp. 117–180 *in* Sol Tax, ed., Evolution after Darwin, vol. 1: Chicago, University of Chicago Press. "Toda la ciencia es filosófica y las únicas filosofías capaces de tener validez son las de los científicos... Un científico no puede hacer siquiera una observación sin confiar en una premisa filosófica tal como la premisa mínima de ninguna manera evidente por sí misma, de que hay realmente algo que observar."

6—1961, Principles of animal taxonomy: New York, Columbia University Press, xii and 247 pp. "Toda la ciencia teórica es ordenada y si... la sistemática se iguala con el orden, entonces la sistemática es sinónima con ciencia teórica. La taxonomía en cualquier caso, es una ciencia que está más dedicada explícita y exclusivamente al ordenamiento de los datos complejos y en este aspecto tiene un lugar especial particularmente estético..., y... casi supercientífico entre las ciencias."

SMALL, JAMES, 1952, The time scale of organic evolution: Irish Astronom. J., vol. 2, no. 1, pp. 21–26. "...reconocemos que existe y ha existido, tanta ley y orden en la evolución orgánica como también existe y ha existido en la evolución astronómica—y sobre una escala similar de millones de años."

SMILEY, TERAH LEROY, *ed.*, 1955, Geochronology: Univ. Arizona B., Physical Sci. B., 2, 200 pp. Doce ensayos sobre métodos científicos los cuales pueden aplicarse para poner fecha a los acontecimientos terrestres.

SMITH, JAMES PERRIN, 1900, Principles of paleontologic correlation: J. Geol., vol. 8, pp. 673–697. "La sucesión geológica de faunas tiene algunas irregularidades y anomalías... pero los desplazamientos de la escala del

tiempo son muy ligeros y la uniformidad en varias regiones separadas muy grande como para fijar mucho esfuerzo en la homotaxis que se opone al sincronismo."

SOLLAS, W. J., 1900, Evolutional geology: Science, n. s., vol. 12 pp. 745–756, 787–796. Con el crecimiento del conocimiento acerca de la Tierra, la geología catastrófica fue suplantada por la geología uniformista y ésta, a su vez, por la geología evolutiva.

SONDER, RICHARD AUGUST, 1956, Gedanken zur theoretischen Geotektonik, pp. 381–395 *in* Franz Lotze, ed., Geotektonisches Symposium zu Ehren von Hans Stille: Stuttgart, Ferdinand Enke, xx and 438 pp. "Die in der endogenen Geomechanik anzuwendende *Methodik* muss nach dem bekannten Prinzip von '*Versuch und Irrtum*' vorgehen. Die verschiedenen Grundtheorien sind für den Theoretiker Probe-oder *Testtheorien*, die geotektonischen Thesen sind die *Testthesen*."

SPENCER, HERBERT, 1884, The classification of the sciences, pp. 59–112 *in* Recent discussions in science, philosophy and morals: New York, D. Appleton. La sucesión de ciencias concretas—astronomía, geología, biología, psicología y sociología— forman una serie natural e intergradacional que refleja la evolución cósmica de su materia.

SPIEKER, EDMUND MAUTE, 1956, Mountain-building chronology and nature of the geologic time scale: Am. Assoc. Petroleum Geol., B., vol. 40, no. 8, pp. 1769–1815. "El patrón de conceptos y la consecuente forma de pensamiento del geólogo cuando hace sus observaciones... inevitablemente le permitirá controlar los datos que obtiene, ya sea por selección o aplicando su buen criterio."

STENO, NICOLAUS (NIELS STENSEN), 1667, Canis carchariae dissectum caput (The earliest geological treatise, translated from the Latin, with introduction and notes, by Axel Garboe): London, Macmillan; New York, St. Martin's Press, 51 pp., 1958. "Puesto que la tierra de la que provienen los cuerpos que se asemejan a partes de animales ya no los produce en nuestro tiempo (a); puesto que es probable que el suelo en cuestión haya sido suave en sus primeros tiempos (b), en realidad, se supone que estuvo mezclado con el agua (c); ¿por qué entonces no se nos habría de permitir conjeturar que estos cuerpos son restos de animales que vivieron en estas aguas?

STOREY, TARAS PHILIP, and PATTERSON, JOHN ROBERT, 1959, Stratigraphy—traditional and modern concepts: Am. J. Sci., vol. 257, no. 10, pp. 707–721. "Mientras que el estratígrafo tradicional fija sus altos conocimientos en relación a los atributos del tiempo como el factor guía en la estratigrafía, los investigadores modernos se mueven sin objeto alrededor de su filosofía arbitraria, de tal manera que los criterios litológicos, biológicos y cronológicos deben ser tratados sin relacionarlos simultáneamente en forma mutua."

STRAHLER, ARTHUR NEWELL, 1952, Dynamic basis of geomorphology: Geol. Soc. Am., B., vol. 63, no. 9, pp. 923–938. "Dos puntos de vista muy diferentes se utilizan en la geomorfología (analítica) dinámica y en la geomorfología (regional) histórica. El investigador de los procesos y formas se está preguntando a sí mismo continuamente, '¿qué sucede?', y el investigador histórico mantiene latente la cuestión, '¿qué sucedió?'"

2—1958, Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms: Geol. Soc. Am., B., vol. 69, no. 3, pp. 279–300. "La fase racional de la ciencia, asociada comúnmente con la 'ciencia deductiva' en la geología, consiste de la formulación de explicaciones y leyes generales a través de etapas lógicas del razonamiento desde una serie de postulados iniciales los cuales parecen ser válidos a la luz de la observación y la experiencia previas."

STUBBLEFIELD, CYRIL JAMES, 1954, The relationship of palaeontology to stratigraphy: Adv. Sci., vol. 11, pp. 149–159. "La paleontología y la estratigrafía, ambas son ciencias de observación más que de experimentación; sin embargo, independientemente de cuán exactas sean las observaciones registradas, son retrospectivas en tanto que se relacionan con los procesos naturales."

SUZUKI, KOITI and KITAZAKI, UMEKA, 1951, On the stratigraphical meaning of time and space; Res. Inst. Nat. Res., Tokyo, Misc. Rept. no. 22, pp. 28–35. La concepción dualista de la clasificación estratigráfica, de acuerdo a la cual se pueden subdividir las sucesiones de estratos en categorías litológicas y cronológicas las cuales son independientes mutuamente, refleja una idea equivocada de lo que en realidad significa el tiempo geológico. Puesto que la crónica de la historia de la Tierra se basa en el ordenamiento de las masas de roca en el espacio, las unidades litológicas y cronológicas son conceptualmente inseparables.

TASCH, PAUL, 1954, Search for the germ of Wegener's concept of continental drift: Osiris, vol. 11, pp. 157–167. El concepto de Wegener de la deriva continental puede tener sus raíces en el mito de Platón del continente perdido de Atlántida.

TEICHERT, CURT, 1958, Concepts of facies: Am. Assoc. Petroleum Geol., B., vol. 42, no. 11, pp. 2718–2744.

2—1958, Some biostratigraphical concepts: Geol. Soc. Am., B., vol. 69, no. 1, pp. 99–120. "La biocronología muestra el orden de sucesión en el que ocurrieron los acontecimientos; una escala absoluta, poco conveniente se deriva de los métodos radiactivos."

TEILHARD DE CHARDIN, PIERRE, 1951. La vision du passé: ce qu'elle nous apporte, et ce qu'elle nous enlève, *in* Sciences de la terre, XXI Cong. Internat. Phil. Sci., Paris, 1949: Paris, Hermann, pp. 71–74. Así como nuestras percepciones del espacio son afectadas por las leyes geométricas de la perspectiva, así nuestras perspectivas del tiempo están sujetas a ciertos impedimentos naturales. En las reconstrucciones del pasado geológico, son revelados los ritmos lentos del universo, pero los orígenes reales de las entidades que han evolucionado en el tiempo no pueden ser resueltos por lo común.

THOMAS, GWYN, 1956, The species conflict—abstractions and their applicability: Systematics Assoc., London, Pub. no. 2, pp. 17-31. Discute las diferencias entre paleontólogos y entre paleontólogos y neotólogos sobre la definición de las especies y sugiere que la taxonomía paleontológica es y seguirá siendo un arte y una ciencia.

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES

THORBURN, W. M., 1918, The myth of Occam's Razor: Mind, vol. 27, pp. 345–353. "El descuido infortunado de Tennemann y de Hamilton... cambió una regla justa de la Metodología en un dogma Metafísico... Es un disparate complicar la investigación multiplicando los objetos de la indagación; pero nosotros sabemos muy poco de la constitución fundamental del Universo para suponer que no pueda ser mucho más complejo de lo que parece o de lo que, por una verdadera razón que tengamos, suponemos que es."

TIKHOMIROV, V. V., 1959, Aktualizm v trudakh russkikh geologov nachala XIX veka (Actualism in the works of Russian geologists at the beginning of the nineteeth century): Akad. Nauk. SSSR, Inst. Geol., Ocherki po istorii geol. znanii, vol. 8, pp. 154–164. El enfoque uniformista o formalista del actualismo que conduce a un callejón sin salida, debido, de acuerdo con este enfoque, a que no podemos explicar el origen de las rocas cuyas análogas no se están formando en el presente. Por otro lado, el franco rechazo del actualismo conduce al agnosticismo en cuanto a la posibilidad de descifrar la evolución de nuestro planeta.

TOMKEIEFF, SERGEI IVANOVICH, 1946, James Hutton's "Theory of the Earth" (Hundred and fiftieth anniversary of the birth of modern geology): Geologists' Assoc., London, Pr., vol. 57, pt. 4, pp. 322–328. "Hacia el final del siglo XVII la concepción heroica de la historia humana fue reemplazada por una de desarrollo gradual compuesto de las acciones y pensamientos de una multitud de hombres y mujeres. Condorcet fue el exponente de esta idea y su libro fue publicado en 1794. A la concepción heroica de la historia humana correspondió la concepción catastrófica de la historia de la Tierra. Hutton reemplazó esto por lo que puede ser llamado gradualismo."

2—1948, James Hutton and the philosophy of geology: Edinburgh Geol. Soc., Tr., vol. 14, pt. 2, pp. 253–276. La teoría de Hutton sobre la Tierra estuvo basada en el principio de la uniformidad de la Naturaleza, en el postulado del determinismo; en la idea de que el estudio de los procesos, más que de la materia, ofrece la mejor aproximación a los problemas geológicos y en el principio de integración, el cual supone que los pequeños acontecimientos en su resultado cumulativo conducen a grandes cambios. La principal contribución de Hutton a la geología fue su concepto del ciclo geostrófico, el cual evidentemente lo tomó prestado del ciclo vital de los organismos.

TCULMIN, GEORGE HOGGART, 1783, The antiquity of the world, 2d. ed.: London, T. Cadell, xiii and 208 pp. "Si alguna cosa siempre ha existido o debe haber sido eterna —¿por qué no tratar con deferencia a los magníficos y hermosos objetos de cuya existencia estamos seguros? ¿Por qué no otorgamos eternidad a la Naturaleza? ... La Naturaleza invariablemente es la misma, sus leyes son eternas e inmutables..."

TOULMIN, STEPHEN EDELSTON, 1953, The philosophy of science; an introduction: London, Hutchinson's University Library, 176 pp. "... en cualquier sentido que entendamos el Principio de Uniformidad, ya sea como una suposición, como un descubrimiento o como un manifiesto, tiene una debilidad especial: la de su irremediable vaguedad. Un principio establecido en términos tan generales no puede tener un significado práctico ... De esta manera él no es la Naturaleza que es Uniforme, sino un procedimiento científico; y solamente es uniforme debido a que es metódico y se corrige a sí mismo."

2—1961, Foresight and understanding; an enquiry into the aims of science: Indiana University Press, 116 pp. Aquellos que construyen sus ciencias alrededor de un principio de regularidad o de un orden natural ideal llegan a aceptarlas como una explicación propia. Precisamente porque en la perspectiva de ellos tal principio especifica la forma en que se comportan las cosas de acuerdo con su propia naturaleza, si se les abandona a sí mismas cesan de interrogar sobre cuestiones ulteriores acerca de ellas."

TRUEMAN, ARTHUR ELIJAH, 1948, Geology today and tomorrow: Adv. Sci., vol. 5, no. 19, pp. 184–193. Entre las principales contribuciones de la geología al pensamiento general están la escala del tiempo geológico, una idea mundial de la historia de la vida contra la escala del tiempo y una apreciación de la insignificancia del tiempo histórico comparado con las etapas de la evolución humana y de la evolución de los vertebrados, en general.

TSILIKIS, JOHN D., 1959, Simplicity and elegance in theoretical physics: Am. Scientist, vol. 47, pp. 87–96. "En general, la verdad es simple y el descubrimiento de ecuaciones sencillas para la descripción de fenómenos naturales comunica alguna seguridad de que los resultados simples implican verdades basadas en hechos reales."

UMBGROVE, JOHANNES HERMAN FREDERIK, 1942, The pulse of the earth: The Hague, Martinus Nijhoff, xvi and 179 pp. "La sucesión histórica de los fenómenos, su correlación y significado forman los más atractivos e interesantes rasgos de la geología."

VOGELSANG, HERMANN PETER JOSEPH, 1867, Philosophie der Geologie und mikroskopische Gesteinsstudien: Bonn, Max Cohen, 229 pp. "Wo die Gegenwart aufhört, da fängt die Vergangenheit an; die eine kann nur durch die andere erklärt werden."

VYSOTSKII, B. P., 1961, Problema aktualizma i uniformisma i sistema metodov v geologii (The problem of actualism and uniformitarianism and the system of methods in geology): Akad. Nauk, SSSR, Inst. Filosofii, Voprosy Filosofii, no. 3, pp. 134–145. El actualismo y el uniformismo son conceptos científicos diferentes. El uniformismo es la hipótesis de un simple desarrollo cíclico en la Naturaleza; el actualismo es un método de investigación, por medio del cual se utiliza el estudio de los fenómenos y procesos actuales como base para descubrir el pasado geológico y predecir el futuro.

2—1961, Vozniknovenie uniformizma i sootnoshenie ego s aktualizmom (The origin of uniformitarianism and its relation to actualism): Akad. Nauk, SSSR, Inst. Geol., Ocherki po istorii geol. znanii, vol. 9, pp. 84–125. "...como regla, las hipótesis y las ideas nunca mueren; son parcialmente incorporadas a las nuevas teorías ... la periodicidad de Lyell no contradice la evolución irreversible; es sólo uno de sus aspectos ... La aproximación uniformista, no su filosofía, es válida a escalas pequeñas, de tal manera que todavía es significativa —en el mismo sentido que lo es la escala decimal a pesar de la teoría de la relatividad de Einstein."

WADELL, HAKON ADOLPH, 1938, Proper names, nomenclature and classification: J. Geol., vol. 46, no. 3, pp. 546–568. "La geología es infortunada con respecto a que las cosas pertinentes a la materia son difíciles de ordenar en una clasificación singular bien construida y completa."

WALTHER, JOHANNES, 1893–1894, Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft; Jena, Gustav Fischer, vi and 1055 pp. "Während die Geognosie beschreibt, die Formationslehre ordnet, ist die Erdgeschichte eine erklärende Disciplin, und daher bedarf *die Geologie als historische Wissenschaft* anderer Methoden und anderer Hilfswissenschaften, um ihr hohes Ziel zu erreichen ... Diese ... Art geologischer Erklärungs-versuche, die mann gewöhnlich als Aktualismus bezeichnet, wollen wir die *ontologische Methode* nennen."

WATSON, DAVID MEREDITH SEARES, 1951, Paleontology and modern biology: New Haven, Yale Univ. Press, xii and 216 pp. "De esta manera, aun las ideas más elevadas y extendidas del argumento morfológico han conducido a las predicciones las cuales ... han sido verificadas por la descripción de animales fósiles reales cuya estructura se conforma exactamente a la expectativa."

WATTS, WILLIAM WHITEHEAD, 1911, Geology as geographical evolution: Geol. Soc. London, Quart. J., vol. 67, pp. lxii-xciii. "La Historia de la Tierra, hasta donde el geólogo es capaz de seguir a través de los sistemas y formaciones geológicos, es una historia de geografías sucesivas y de las relaciones de estas geografías a los seres vivientes que sucesivamente las caracterizaron. En la interpretación y restauración de estas geografías hay un guía seguro, una comparación incesante, en cada etapa, de fenómenos geológicos averiguables del pasado con los fenómenos geográficos conocidos del presente."

WATZNAUER, ADOLF, 1956, Kritische Bemerkungen zur wissenschaftlichen Begriffsbildung: Zs. angew. Geol., vol. 2, no. 2–3, pp. 64–65. "Das geologische Weltbild ist das Ziel der geologischen Wissenschaften."

WEBER, CHRISTIAN OLIVER, 1927, The reality of time and the autonomy of history: Monist, vol. 37, pp. 521–540. "... supongamos que reconstruimos el pasado del mundo aplicando nuestras leyes actuales a los datos del estado presente de nuestro planeta. Es evidente que nunca podríamos encontrar una contradicción al hacer esta reconstrucción, siempre que no haya existido una desarmonía entre nuestros datos y leyes de la actualidad. Entonces, ¿podemos suponer que es posible encontrar en lo profundo de la Tierra una condición geológica que muestre un pasado diferente del que hemos reconstruido? ¿Concluiremos que las leyes de la mecánica han evolucionado y que, por lo tanto, fueron diferentes en el pasado? No, pues el científico siempre puede decir que nuestras leyes actuales de la mecánica son imperfectas y deben modificarse para cubrir los nuevos hechos. Esto equivale a decir que las leyes científicas no nos capacitan para recuperar los hechos históricos."

WEDEKIND, RUDOLF, 1916, Über die Grundlagen und Methoden der Biostratigraphie: Berlin, Borntraeger, 60 pp. "Das grundlegende Prinzip jeder Zeitmessung lautet: *Die gleichen Ursachen bedürfen des gleichen Zeitintervalls, um am gleichen Objekt die gleiche Veränderung hervorzurufen.*"

WEGMANN, EUGÈNE, 1950, Diskontinuität und Kontinuität in der Erdgeschichte; ein Nachwort: Geol. Rundschau, vol. 38, no. 2, pp. 125–132. La tensión generada entre los catastrofistas y los uniformistas continúa estimulando las investigaciones y los descubrimientos.

2—1951, L'analyse structurale en géologie, *in* Sciences de la terre, XXI Cong. Internat. Phil. Sci., Paris, 1949: Paris, Hermann, pp. 55–64. Al reconstruir una sucesión de formas que han conducido al desarrollo de una estructura geológica a su forma presente, la geología estructural lleva a cabo uno de sus principales objetivos sin apelar a "causas" o "fuerzas". Esta forma de explicación es apropiada a la geología, la cual es, por encima de todo, una ciencia histórica.

3—1958, Das Erbe Werner's und Hutton's: Geología (Berlín), vol. 7, No. 3-6, pp. 531-559. "La reconstrucción de la historia geológica es una especie de ensamblamiento en tiempo y espacio. Al faltar considerables trozos de ese 'Rompecabezas' nos vemos obligados a rellenar los vacíos. La clase de adaptación del único fundamento depende ampliamente de los cuadros guía".

WEIZSÄCKER, CARL FRIEDRICH VON, 1949, The history of nature: Chicago, Univ. Chicago Press, 191 pp. "Puesto que prácticamente todo acontecimiento en la naturaleza produce calor —aunque en muy pequeñas cantidades— todo acontecimiento es irreversible en el sentido más estricto. Todo péndulo llega a quedarse quieto. Aun el movimiento de los planetas alrededor del Sol está disminuyendo constantemente, aunque en pequeña cantidad, por el gas interestelar. Entonces ningún acontecimiento en la naturaleza se repite exactamente. La naturaleza es un curso único de acontecimientos."

WESTGATE, LEWIS GARDNER, 1940, Errors in scientific method—glacial geology: Sci. Monthly, vol. 51, no. 4, pp. 299–309. "La geología se diferencia de muchas ciencias en que sus investigaciones son determinadas geográficamente ... No fue un accidente que la geología estratigráfica surgiera en la Inglaterra central ... y ... en la Cuenca de París ..."

WHEELER, HARRY EUGENE, 1947, Base of the Cambrian system: J. Geol., vol. 55, no. 3, pp. 153–159. "...¿cómo podemos continuar tolerando un concepto, que relaciona la base del sistema Cámbrico como un horizonte cronológico pero que determina dicha base por medio de criterios físicos que no se sujetan a la correlación interregional?"

2—(and Beesley, Edward Maurice), 1948, Critique of the time-stratigraphic concept: Geol. Soc. Am., B., vol. 59, no. 1, pp. 75–86. "Esta variación en la edad de las unidades litogenéticas es ... una verdad fundamental en la estratigrafía, con un significado casi igual a las leyes de la superposición y sucesión faunal y es ... por lo tanto, denominada como el *principio de la transgresión temporal.*"

3—1958, Time-stratigraphy: Am. Assoc. Petroleum Geol., B., vol. 42, no. 5, pp. 1047–1063. "... así como las unidades litológicas de una clase u otra se definen para llenar todo el espacio ocupado por el registro geológico actual determinable, las unidades cronoestratigráficas de una clase u otra deben formularse o nombrarse para explicar todo el espacio-tiempo interpretable."

4—1959, Stratigraphic units in space and time: Am. J. Sci., vol. 257, no. 10, pp. 692–706. "El tiempo no tiene significado en la estratigrafía a menos que esté ligado al registro espacial y, por supuesto, sustituido por su dimensión vertical."

WHEWELL, WILLIAM, 1858, History of scientific ideas, being the first part of the philosophy of the inductive sciences, 3rd, ed., vol. 2: London, John S. Parker, xv and 324 pp. "Concibo que la afirmación de una pretensión *a priori* para el espíritu de la probabilidad y el filosófico en favor de la doctrina de la uniformidad, es insostenible. Debemos aprender del examen de todos los hechos y no de nuestra propia suposición, cualquiera que sea el curso que tome la naturaleza para ser uniforme."

2—1872, History of the inductive sciences from the earliest to the present time, 3rd. ed., 2 vols.: New York, D. Appleton. "Los mismos efectos deben enseñarnos la naturaleza e intensidad de las causas que han operado; estamos en peligro de caer en el error si buscamos acciones lentas y evitamos las violentas además de los hechos que naturalmente nos guían, no menos que si fuéramos excesivamente económicos del tiempo y pródigos en la violencia."

WHITE, ANDREW DICKSON, 1930, A history of the warfare of science with theology in Christendom: New York, D. Appleton, 2 vols. Chapter 5, "From Genesis to Geology" bosqueja el altercado entre las ideas geológicas y teológicas de la naturaleza hasta cerca del final del siglo XIX.

WHITTARD, WALTER FREDERICK, 1953, The enigma of the earliest fossils: British Naturalists' Soc., Pr., vol. 28, pt. 4, pp. 289–304.

WIENER, NORBERT, 1961, Newtonian and Bergsonian time, Chapter 1, pp. 30–44, *in* Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine, 2nd. ed.: New York, M. I. T. Press and John Wiley, 212 pp. "Bergson enfatizó la diferencia entre el tiempo reversible de la física en el cual nada nuevo sucede y el tiempo irreversible de la evolución y de la biología en el cual siempre sucede algo nuevo ... El registro de la paleontología indica un lineamiento definido a largo tiempo, más o menos interrumpido y complicado, desde lo simple a lo complejo."

WILLIAMS, HENRY SHALER, 1893, The making of the geological time-scale: J. Geol., vol. 1, pp. 180–197. "Los periodos cronológicos en la geología no sólo son reconocidos por medio de los restos fósiles conservados en los estratos, sino que de ellos debemos esperar principalmente la determinación y la clasificación sobre una base cronológica."

WILLIAMS, JAMES STEELE, 1954, Problems of boundaries between geologic systems: Am. Assoc. Petroleum Geol., B., vol. 38, no. 7, pp. 1602–1605. Los criterios discutidos que se han usado para determinar los límites entre los sistemas del Devónico y del Carbonífero, en Misuri, y se concluye que rara vez es posible establecer la correlación intercontinental de unidades delgadas cerca de los límites entre los sistemas.

WILLISTON, SAMUEL WENDELL, 1914, Water reptiles of the past and present: Chicago, Univ. Chicago Press, vii and 251 pp. "... también es una ley en la evolución que las partes de un organismo tiendan a reducirse en número y los pocos que quedan desarrollen funciones altamente especializadas, así como la máquina humana más perfecta es aquella que tiene el menor número de partes y cada una está altamente adaptada a la función especial que tiene que desempeñar."

WILMARTH, MARY GRACE, 1925, The geologic time classification of the United States Geological Survey compared with other classifications, accompanied by the original definitions of era, period and epoch terms: U. S. Geol. Survey, B. 769, vi and 138 pp.

WILSON JOHN ANDREW, 1959, Stratigraphic concepts in vertebrate paleontology: Am. J. Sci., vol. 257, no. 10, pp. 770–778. "Las secciones tipo en la clasificación estratigráfica no deben tener un mayor significado que el de portadoras de nombres. Son representaciones unidimensionales de cuerpos de roca tridimensionales.

2—*et. al.*, 1961, Geochronologic and chronostratigraphic units, Note 25 of the American Commission on Stratigraphic Nomenclature: Am. Assoc. Petroleum Geol., B., vol. 45, no. 5, pp. 666–673. "... lógicamente en la geología, el tiempo puede ser un concepto que coincide con el espacio."

WILSON, JOHN TUZO, 1952, Orogenesis as the fundamental geological process: Am. Geophys. Union, Tr., vol. 33, no. 3, pp. 444–449. "Ahora, como se ha creído que es el caso, si los geólogos aceptan la suposición de que las leyes generales de la física y la química se aplican a la Tierra y que no son necesarias otras leyes exclusivamente geológicas, entonces, los procesos fundamentales a los que se llega por el razonamiento físico deben ser los mismos que aquellos a los que se llega por el razonamiento geológico."

2—1959, Geophysics and continental growth: Am. Scientist, vol. 47, no. 1, pp. 1–24. "La creencia de que la Tierra opera de una manera que puede generalizarse en una forma simple se justifica debido a que es lo común en la naturaleza."

WILSON, MORLEY EVANS, 1956, Early Precambrian rocks of the Temiskaming region, Quebec and Ontario, Canada: Geol. Soc. Am., B., vol. 67, no. 10, pp. 1397–1430. " 'Ningún vestigio de un comienzo' es una verdad de las rocas primitivas del Precámbrico del Escudo Canadiense; esto es lo que le pareció también a Hutton al observar las Tierras Altas de Escocia en 1785."

WINTER, JOHN GARRETT, 1916, The prodromus of Nicolaus Steno's dissertation concerning a solid body enclosed by process of nature within a solid: an English version with an introduction and explanatory notes, with a foreword by William H. Hobbs: Univ. of Michigan Studies, Humanistic Ser., vol. XI, Contributions to the History of Science, Pt. II, pp. 165–283; New York, Macmillan. "Si una sustancia sólida es en todos sus aspectos semejante a otra sustancia sólida, no solamente en cuanto a las condiciones de superficie sino también en cuanto al ordenamiento interno de partes y partículas, también será semejante en cuanto al modo y lugar de producción..."

WOLMAN, M. GORDON, and MILLER, JOHN P., 1960, Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes: J. Geol., vol. 68, no. 1, pp. 54–74. "El análisis del transporte de sedimentos por varios medios indica que una gran parte del 'trabajo' es efectuado por acontecimientos de magnitud moderada que se repiten con relativa frecuencia más que por acontecimientos raros de magnitud poco común."

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M.G.

WOODFORD, ALFRED OSWALD, 1935, Historical introduction to geology: Pan-American Geol., vol. 64, no. 1, pp. 1–7.

2—1956, What is geologic truth?: J. Geol. Education, vol. 4, no. 1, pp. 5–8. "... los problemas complicados generalmente pueden resolverse en partes simples. Entonces cada elemento es posible atacarlo por uno de varios métodos más o menos rigurosos ... Si se encuentra una solución puede ser (1) con rigor matemático (2) la única hipótesis sobreviviente, después de agotar otras posibilidades (3) intuitivas pero adaptadas a una serie extensa de hechos conocidos, o (4) más o menos dudosos."

3—1960, Bedrock patterns and strike-slip faulting in southwestern California: Am. J. Sci., vol. 258-A (Bradley Volume), pp. 400–417. Cuando son posibles dos soluciones por deslizamiento para fallas, "... puede hacerse la selección tentativa utilizando la regla *Disyunciones mínimas, disyunciones óptimas* ... Esta regla puede considerarse como parsimoniosamente cuantitativa en relación a la ley de Occam ..."

WOOLNOUGH, WALTER GEORGE, 1937, Fact and theory in geology, with special reference to petroleum, salt and coal: Australian and New Zealand Assoc. Adv. Sci., Rept. 23rd Meeting, pp. 54–79. "Deseo con toda modestia sugerir ... que de tiempo en tiempo ha existido una serie de condiciones fisiográficas en las pasadas eras geológicas de las que no tenemos ejemplos verdaderos en la actualidad; y que las *variantes* de estas condiciones *pueden* servir para explicar, por lo menos, algunas de las dificultades con las cuales nos enfrentamos en un esfuerzo por explicar el origen del aceite, de la sal y del carbón."

WRIGHT, CHARLES WILL, 1958, Order and disorder in nature: Geologists' Assoc. London, Pr., vol. 69, pp. 77–82. La geología comprende un grupo de ciencias unificado principalmente en su interés por el tiempo y el proceso. El geólogo debe revisar ocasionalmente el depósito de su información puramente verídica, pues el orden y regularidad de la naturaleza son en un último análisis, suposiciones.

ZEUNER, FREDERICK EBERHARD, 1952, Dating the past; an introduction to geochronology: London, Methuen, xx and 495 pp. Describe los métodos y resultados principales de la geocronología, "la ciencia de fechar en función de años aquellos periodos del pasado para los cuales no se aplica el calendario histórico humano."

Indice para la Bibliografía

— A —

Actualismo (*véase también* Uniformidad, principio de)
Beurlen 1, 2; Bülow 2; Kummerow; Rutten 2; Tikhomirov; Vysotskii 1
clásico: Beringer, Hoff
comparado con el uniformismo: Hooykaas 1; Vysotskii 1
contemporáneo: Beringer
de Lomonosov: Gordeev 2
en la crítica de Engels del uniformismo lyeliano: Engels; Gordeev 2
en las hipótesis de trabajo: Bemmelen 1
en relación al razonamiento analógico: Hooykaas 1
esencial a la geología histórica: Andrée
limitaciones temporales del: Bemmelen 1
principio del: Backlund; Bubnoff 1; Cotta; Ebert; Hooykaas 2; Khain 1
Actuogeología
Schäfer
Actuopaleontología
Schäfer
Análisis dimensional
aplicado a la geomorfología: Strahler 2
Análisis estadístico
datos geológicos para el: Fisher 1; Krumbein 1
para las geociencias: Griffiths
Analógico, razonamiento
Gilbert 1, 2
como base del uniformismo: Hooykaas 1, 2
en la geomorfología: Baulig 3
en la paleoecología: Cloud
en las limitaciones: Hooykaas 1
en los ejemplos de la geología histórica: Watts
falaz en la metáfora organismo-epiorganismo: Simpson 1
Asociaciones paralelas
principio de las: Cloud
Astronomía
en relación a la geología histórica: Nölke
Atmósfera
preactualística y actualística: Rutten 3

— B —

Biocronología
Schindewolf 1; Teichert 2

Bioecología
uso del principio de la uniformidad en la: Clements
Bioestratigrafía
Moore 1
definición de la, contribución de la, a la geocronología: Teichert 2
nomenclatura de la: Amer. Comm. on Strat. Nomenclature
principios y métodos de la: Wedekind
sinónimo de la estratigrafía: Schindewolf 4
Biogénesis
múltiple: Rutten 3
Biogeografía
Mayr 1
Bioquímica
comparativa: Rutten 3

— C —

Cámbrico
definición de la base del: Wheeler 1
Carácter histórico
Miller, H.
Cartografía geológica (*véase* Mapas geológicos)
Casos históricos
del lago Bonneville Basin: Gilbert 1
de la geología económica: Joralemon
en la importancia de la educación científica: Gilbert 1
Catástrofes
climáticas: King, C.
en la extinción de los animales al finalizar el Mesozoico: Jeletzky 2
erosionales: Wolman
orogénicas: King, C.
su lugar en la naturaleza uniforme: Dawson
volcánicas: King, C.
Catastrofismo
Cannon 2, 4; Eisley; Geikie 2; Gillispie; Greene; Le Conte; Wegmann 1; Whewell 2
bibliografía y citas del: Hölder
comparado con el uniformismo: Rutten 3
críticas al, por geólogos alemanes y franceses: Bülow 2
defensa del: King, C.; Sedgwick
discusión falsa del, en el debate catastrofista-uniformista: Herschel 2
valores heurísticos de: Wegmann 1
en relación al teísmo: Hooykaas 2
extinción por el, de los animales mesozoicos: Jeletzky 2
francés: Bülow 2
historiografía griega primitiva del: Collingwood 1
ilustrado por ejemplos: Murchison
oposición al: Newell 1
raíces psicológicas del: Berry 2
tendencia de Davis hacia el: Khain 1
teoría orientada históricamente del: Bülow 2

Categorías
naturales: Koch
Cateos
filosofía de los, de los depósitos minerales: Lasky
Causalidad
Miller, H.
en la geomorfología: Baulig 2
Causas
antiguas contra actuales en la geología: Cayeux
Ciclo geoestrófico
Hutton; Tomkeieff 2
Ciclo geoquímico
Barth
Ciencia
abstracta: Spencer
abstracta-concreta: Spencer
clasificación de las ciencias en la: Bliss; Spencer
como historia; Lenzen
concreta: Spencer
etapas de crecimiento de la: McLachlan
finalidad de la: Toulmin, S. 2
futilidad de clasificar y jerarquizar en la: Mises
generalizaciones de registros de observación en la: Gould
generalizando contra individualizando en la: Mises
hipótesis explicativas de la: Gould
influencia mutua de las ciencias en la: McLachlan
mediciones en la: McLachlan
rango en la: Hubbert 2
registros de observación en la: Gould
un método en la: DeGolyer
Ciencia de los suelos (*véase* Pedología)
Ciencia empírica
cualitativa y cuantitativa: Strahler 2
esquemas de pensamiento de la: Koch
unidad metodológica de la: Hempel 1
Ciencia racional
Strahler 2
Ciencias genéticas
Gallie
contra ciencias no genéticas: Miller, H.
Ciencias paleontológicas
Hooykaas 2; Whewell 1, 2
Clasificación
artificiosa de los esquemas geológicos: Berry 2
biológica: Simpson 6
concepto de "tipo" en la: Niggli
de la relación lineal: Gilbert 1
de las clases naturales: Gilbert 1
de las formas terrestres: Davis 5
de los cristales: Niggli
de los elementos geotectónicos: Krynine

de los fenómenos naturales: Hedberg 1
de los minerales: Niggli
empírica: Gilbert 1
estratigráfica: Interdept. Strat. Comm. USSR.; Am. Comm. on Strat. Nomenclature
general: Koch
genética de las formas terrestres: Davis 5
genética en la tectónica: Krynine
geológica: Wadell
paleontológica y neontológica: Hawkins 1
relativa: Gilbert 1
relativa coordinada: Gilbert 1
Comprensibilidad, hipótesis de la
Schrödinger
Concentración de sustancias, minerales
principio geológico de la: Russell
Conocimiento geológico
limitaciones del: Harrassowitz 1
Contactos cronoestratigráficos
Bell
Contactos estratigráficos
carácter objetivo del contacto Mesozoico-Cenozoico en los: Jeletzky 2
dificultades en los, de correlación intercontinental: Williams, J. S.
Continuidad, principio de la
Davis 2; Nicholson
uso en la petrología del: Deer
Controversia werneriana
Coombs
Controversias
en el debate uniformista-catastrofista: Cannon 1
en la controversia del granito: Read 3
Correlación estratigráfica
Berry 2
contemporaneidad de los estratos en la: Huxley 1
criterios en la: Berry 1; Rodgers; Williams, J. S.
diastrofismo, un criterio inadecuado en la: Spieker
dificultades en la correlación internacional en la: Williams, J. S.
homotaxis contra sincronismo en la: Smith
influencia catastrofista en la: Berry 1
influencia werneriana en la: Williams, J. S.
paleontológica: Berry 1; Smith; Spieker
Precámbrica: Haughton; James
principios de la: Berry 1
significado de la: Rodgers
Cosmólisis
principio de la: Blanc
Cosmología
aspectos evolutivos y funcionales de la: Simpson 5
implicaciones geológicas y biológicas de la cosmología de Milne en la: Haldane 1
postulado de la simplicidad en la: Gold

problema del orden en la: Simpson 5
uniformidad cosmológica en la: Bondi 2
Cristales (*véase también* Mineralogía)
ideales y reales: Niggli
Cronoestratigrafía
Sigal
contactos en la: Bell
Cronología
diastrófica: Schindewolf 1
geológica: Wilson, J. A. 2
orto- y para-: Schindewolf 1
paleontológica: Schindewolf 1
Cuvier
contribuciones de, a la geología descriptiva sistemática: Whewell 2

—D—

Dacque, principio de,
Simpson 2
Darwin, Charles
en deuda con Lyell
Darwinismo
Beringer
implicaciones relativas a la categoría del hombre en el: Simpson 4
Datos geológicos
categorías de los: Krumbein 2
Davis, ciclo de erosión de
Davis 5
crítica: Béthune 2; Judson 2
Davis, W. M.
contribuciones a la filosofía de la geología de: Daly 2
Decisión del intervalo cubierto
Brown 2
Deductivismo
Popper 2
Deductivo, método
Popper 2
ciclo de erosión de Davis en el: Daly 2
debilidad de la geomorfología davisiana en el: Béthune 2
en la cartografía geológica: Robertson
en la geomorfología: Davis 5
explicaciones del: Kitts
Definiciones
Koch; Wadell
Demarcación
problema de la: Popper 2
Dendrocronología
métodos de la: Smiley
Denudación
humana contra la natural: Sherlock
Deperet, ley de

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M G.

Simpson 2
Descripción
geológica: Koch
Descubrimiento científico
lógica del: Popper 2
Descubrimiento paleontológico
factores humanos del: Henbest
Determinismo
Chamberlin 3; Kober; Simpson 1
en la evolución: Simpson 2
postulado del: Tomkeieff 2
Diastemas
Barrell
Diastrofismo
aperiódico: Berry 2
consecuencia del catastrofismo: Wheeler 4
El, no es una base segura para la correlación interregional: Wheeler 1
leyes del: Bucher 3
localizado geográficamente: Berry 2
teoría comprobada por la evidencia paleontológica: Henbest
Dinámica geológica
objeto de la: Whewell 2
Dinamismo
Beringer
Discordancias
significado de las, para la teoría diastrófica: Henbest
valuación de las: Blackwelder
Doctrina de la irreversibilidad de la evolución
Romer 1
Doctrina de la permanencia de las cuencas oceánicas
Le Conte
Dollo, ley de
Simpson 2

—E—

Economía, ley de la (*véase* Simplicidad, principio de la)
Edad de la Tierra
prueba geológica de la: Goodchild
Edad, determinaciones de la
isotópica: Kulp
El hombre
peculiaridades del: Simpson 4
un animal moral: Simpson 4
Emergentismo
Miller, H.
Empirismo
tesis fundamental del: Popper 2
Endogénesis
Amstutz
geomorfológica: Penck

Entropía
en la evolución del paisaje: Leopold
Epigénesis
Amstutz
Epiorganismos
en relación al totalitarismo: Simpson 1
Epoca Reciente
definición y categoría de la: Morrison
Era Psicozoica
injustificada: Berry 2
Eras geológicas
origen de las: Stubblefield
Errores en el método científico
en la geología glacial: Westgate
Escala del tiempo geológico (*véase* Tiempo geológico)
Espacio
análisis del espacio-tiempo en el: Amstutz
concepto: Spencer
relación del, al tiempo en la estratigrafía: Suzuki
Espacio con tiempo perpetuo
en la estratigrafía: Wilson, J. A. 2
Especies inorgánicas
individualidad de las: Niggli
minerales: Orcel
Especies orgánicas
Simpson 6
artificiosas: Arkell 1; Haldane 3; Kermack
bases filosóficas de las: Mayr 2
conflicto en los puntos de vista neontológico y paleontológico sobre las: Thomas
cronoespecies: Thomas
morfoespecies monotípicas contra las politípicas en las: Thomas
multidimensionales: Mayr 2
sin dimensión: Mayr 2
subespecies geográficas y cronológicas de las: Joysey
tipológicas: Mayr 2
variedades de conceptos entre los paleontólogos de las: Thomas
Esquematización
en la metodología científica: Niggli
Estancamiento
en la evolución del paisaje: Crickmay
Estratigrafía
ambigüedad de las unidades litológicas en la: Suzuki
aproximaciones deductivas contra inductivas en la: Hedberg 2
arqueológica: Smiley
categoría de las secciones tipo en la: Wilson, J. A.
concepto de tiempo en la: Schindewolf 4
consideraciones temporales de la: Storey
de las unidades litológicas acumuladas en la superficie: Wheeler 4
definición de la: Interdept. Strat. Comm., USSR; Jeletzky 1; Schenck; Stubblefield; Teichert 2

edades de las unidades estratigráficas en las: Arkell 2
en relación a la paleontología: Stubblefield
escala geocronológica y estratigráfica en la: Interdept. Strat. Comm. USSR
facies de la: Schenck
finalidades de la: Interdept. Strat. Comm., USSR; Sigal
formaciones en la: Arkell 2
fuentes de confusión en la: Hedberg 2
homotaxis: Amer. Comm. on Strat. Nomenclature; Henbest; Huxley 1; Interdept. Strat. Comm., USSR; Jeletzky 1; Kobayashi
"leyes" de la: Smiley
objeto: Galbraith
parentesco de la, con la geología estructural y metamórfica: Billings
pisos: Arkell 2
principios de la: Hedberg 2
proestratigrafía en la: Schindewolf 4
relaciones entre la, y las unidades estratigráficas: Hedberg 1
rocas metamórficas en la: Billings
significado de las unidades primarias en la: Billings
subdivisiones de la: Sigal
terminología de la: Schindewolf 4
tradicional contra conceptos modernos: Storey
unidades: Interdept. Strat. Comm., USSR; Amer. Comm. on Strat. Nomenclature
unidades bioestratigráficas de la: Hedberg 2
unidades cronoestratigráficas de la: Hedberg 2
unidades cronoestratigráficas en la: Amer. Comm. on Strat. Nomenclature; Schenck
unidades litoestratigráficas de la: Hedberg 2
unidades litoestratigráficas en la: Amer. Comm. on Strat. Nomenclature; Schenck
unidades mineralógicas en la: Hedberg 2
zonas: Arkell 2
Estratigrafía arqueológica
métodos de la: Smiley
Estudios geológicos
despersonalización de los: Rios
ejemplos de: Krumbein 2
Etapa pregeológica del desarrollo de la Tierra
Rutten 2
Evidencia
geológica: Richey; Vogelsang
paleoecológica: Cloud; Ladd
paleontológica: Moore 1
taxonómica: Simpson 6
Evolución general
cósmica: Milne
ley suprema de la ciencia: Seares
natural: Kober
no como una ley universal de la naturaleza: Popper 1
orgánica e inorgánica: Cotta

un fenómeno universal: Schuh
Evolución inorgánica
Goudge 2; Mason; Wilson, J. T. 2
de las pendientes de las laderas: King 1
en el paisaje: Crickmay; Judson 2
en las asociaciones mineralógicas: Roever
geográfica: Davis 5; Watts
geomórfica: Leopold
oceánica: Daly 1
Evolución orgánica
Simpson 3
adaptación de la: Simpson 3
adaptativa contra progresiva: Schuh
amoral: Simpson 4
contribuciones paleontológicas a la: Simpson 4
controlada: Haldane
de arquetipos: Simpson 1
de las plantas: Seward
dogma neodarwiniano de la: Small
en la biología evolutiva: Mayr 1
en la comparación de las teorías neodarwiniana y ortogenética: Grene
en la doctrina de la irreversibilidad: Romer 1
en las implicaciones epistemológicas: Grene
en las teorías darwinianas, en el reductivismo en los aspectos mecanicistas: Grene
en relación a la filosofía cristiana: Simpson 3
eugenesia negativa y positiva de la: Haldane 2
"explosiva": Henbest
extinción en la: Simpson 3
fatalismo en la: Simpson 1
humana: Haldane 2
individualismo en la: Clarke
irreconocible: Rutten 3
lento desarrollo de la: Haldane 2
leyes de la: Hawkins 2; Rensch; Simpson 2, 3; Small
opiniones finalistas en la: Simpson 3
opiniones holísticas en la: Broom
opiniones materialistas y mecanicistas sobre la: Simpson 3
opiniones vitalistas de la: Simpson 3
oportunismo de la: Simpson 3
opuesta al uniformismo: Cannon 1
orgánica e inorgánica: Schuh
ortogénesis de la: Jepsen: Romer 1; Simpson 1, 3
principios de la, aplicados a las civilizaciones: Hawkins
procesos históricos en la: Simpson 2
progreso de la: Simpson 3
selección en la: Jepsen
societaria: Simpson 3
teoría sintética de la: Simpson 3
teorías metafísicas de la: Simpson 1
teorías teleológicas de la: Romer 1

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M.G.

y catastrofismo: King, C.
y causalidad: Simpson 3
Evolucionismo
en la síntesis del uniformismo y del catastrofismo: Le Conte
geomórfico: Khain 1
sucesor para el uniformismo: Geikie 2
Exogénesis
en la geomorfología: Penck
en relación a las "supersticiones más elevadas": Amstutz
Explicación
acontecimientos complejos de la: Kitts
carácter lógico de la: Hempel 2
causal: Gallie; Goudge 1; Popper 1
científica: Hempel 1; Scriven 1
deductiva: Kitts
descripción de la: Hempel 1
filogenética: Gallie
genética: Beckner; Goudge 2
geológica: Kitts; Vogelsang
histórica: Beckner; Frankel; Gallie; Goudge 3; Hempel 1; Kitts
insuficiencia de las opiniones logicoempíricas de la: Barker 1
líneas causales de la: Gallie
relación para la descripción de la: Mises
retrodicción de la: Gallie; Gould
supernatural; Page
teleológica: Beckner
Extinción
destino general de las especies: Simpson 5
en correlación con los acontecimientos físicos: Camp

— F —

Facie sedimentaria
clasificación de la: Moore 2
concepto de la: Gressly; Teichert 1
definición de la: Moore 2
estratigrafía facial de la: Sigal
nomenclatura de la: Moore 2
variación en el uso habitual de la: Moore 2
Falsificación
criterio para comprobar la, de las teorías científicas; Popper 2
Fatalismo
evolutivo: Simpson 1
Fechas del radiocarbono
precisión y exactitud de las: Hunt
Fenómenos cíclicos
Gordeev 1
contra procesos lineales: Schindewolf 1
en el ciclo geostrófico de Hutton: Playfair; Tomkeieff 2
en la historia de la Tierra: Chamberlin 2
en relación al principio de la uniformidad: Barrell

erosionales: Béthune 1, 2; Judson 2; King 1; Penck
geológicos: Umbgrove
geoquímicos: Barth
Fenómenos geológicos
antecedentes múltiples de los: Gilbert 1; Rutten 1
interpretación de los: Emmons
Filogenia
descubrimiento: Simpson 6
Filosofía
científica: Simpson 5
definición de la: Collingwood 1
geológica: Beringer; Clarke; Launay; Page; Vogelsang; Whewell 1
bibliografía y citas de la: Hölder
contribuciones de Hutton a la: Belousov
definición: Page
necesidad de reexaminar la: Hubbert 3
y su relación a la geología: Cotta
Finalismo en la evolución
Simpson 2
Fisicalismo
Mises
Fisicoquímica
aplicada a la mineralogía y a la petrología: Barth
Fluctuaciones climáticas
como base de la cronología del Pleistoceno: Brouwer
Formación estratigráfica
ambigüedades de la: Schindewolf 4
uso de los fósiles al definir la: McLaren
Formulando decisiones
Brown 2
Fósiles (*véase también* Registro fósil y Paleontología)
argumentos del origen orgánico de los: Steno
evolución de ideas sobre los: Greene
historia de las interpretaciones de los: Haber
probabilidad de descubrir especímenes: Newell 3
uso de, en la definición de las formaciones: McLaren

— G —

Generalización
en las investigaciones científicas: Niggli
Generalizaciones
distributivas: Spieker
universales: Gould
Geocosmología
rama de la ciencia histórica: Broggi
Geocronología
aspectos astronómicos de la: Smiley
definición de la: Jeletzky 1
en el Reciente: Morrison
en la fechación radioquímica: Smiley

exactitud de la, en las fechas por radiocarbono: Hunt
fluctuaciones climáticas en la: Brouwer
importancia de los fósiles en la: Schindewolf 4
métodos de la: Smiley; Zeuner
principios de la; Brouwer
relativa contra fechación absoluta; Rutten 3
sedimentaria comparada con la de las rocas ígneas intrusivas: Rutten 3
Geocronometría
Kulp
Geodinámica
definición de la: Broggi
Geoestática
definición de la: Broggi
Geofísica
aplicada a los problemas geológicos: Hameister; Haughton
cualidades de los geofísicos: Hubbert 2
definición de la: Hubbert 2
la, en la teoría del crecimiento continental: Wilson, J. T. 2
métodos y aplicaciones de la: Hameister
objeto de la: Gutenberg
su relación con la geología: Goguel 1; Gutenberg; Hubbert 2
Geogenia
lo mismo que geología histórica: Broggi
Geografía (*véase* Geomorfología)
Geohidrología
objeto y métodos de la: Le Grand
Geología (*véase también* Geología experimental, Geomorfología, Geología histórica, Petrografía, Petrología, Estratigrafía, Geología estructural)
abandono de la, por las escuelas: Read 2
análisis de datos por la: Krumbein 2
antecedentes históricos de la: Merriam
aplicada: Berkey; DeGolyer; Galbraith; Joralemon; Miller, B.; Richey
aplicada a la historia militar: Grabau
arte reconstructivo de la: Grabau
aspectos científicos e históricos de la: Bubnoff 2
aspectos subjetivos de la: Bemmelen 1
ataques teológicos a la: White
barreras para el progreso de la: Roger
bases bíblicas de la, cataclísmica: Millhauser
bíblica: North 1
bibliografía de la: Roger
campos de la: Bliss; Broggi; Galbraith; Judson 1; Roger
carácter especulativo de la: Davis 3
categorías de la: Koch
ciencia concreta: Spencer
ciencia natural derivada de la: Bliss
ciencia probabilista: Brown 2
científica, sus aspectos históricos y aplicados: Bliss
clasificación contra ordenamiento en la: Bemmelen 1
comparada con la historia: Kitts

concepto del tiempo en la: Schindewolf 1
contribución de la, a la biología: Mayr 1
contribución de la, a la evolución darwiniana: Gillispie; Greene
contribución de la, al pensamiento general: Engels; Hawkins 2; Lyell; Simpson 4; Trueman; Whewell 2
contribuciones de Lomonosov a la: Khain 2
cuantificación en la: Krumbein 2
cuantitativa: Coombs; Krumbein 1; Leopold; Scheidegger
definición de la: Hubbert 2; Spencer
desarrollo de las ideas en la: North 1, 2; Vogelsang
descriptiva: Harrassowitz 2; Mises; Whewell 2
descriptiva contra histórica: Harrassowitz 1
desunión de la: McLachlan
dinámica: Bucher 2
dinámica de la: Whewell 2
distinción de la, de la geografía: Judson 1
distinción de la, de la historia: Collingwood 1
distinción de la, de la mineralogía: Whewell 2
distinción de la, de las ciencias físicas: Goguel 2
el dogma de la: Haarmann
elaborando decisiones en la: Brown 2
en lo concerniente a los agregados: Spencer
en lo concerniente al tiempo y al espacio: Bubnoff 3; Judson 1
entidades imaginarias de la: Kalkowsky
estructuras lógicas de la, necesidad de reexaminarlas: Hubbert 3
estudios filosóficos de la, elemento metafísico de la: Andrews
etapas de desarrollo de la: Khain 2; Rossiter
eternidad contra límites de tiempo conocidos en la: Bucher 2
evidencia de la: Richey
evolución geográfica de la: Watts
evolutiva contra la, catastrófica y uniformista: Sollas
expansión del objetivo de la: Nolan
experimental: Bemmelen 1; Bubnoff 3; Coombs; Demay; Kuenen; Leclercq; Wegmann 3
explicaciones históricas de la: Kitts
falsedades de la: Harrassowitz 2
fenomenal: Whewell 2
fenómenos emergentes en la: Bemmelen 1, 2
filosofía de la: Beringer; Clarke; Launay; Page; Whewell 1; Vogelsang
física contra histórica: Wilson, J. T. 1
física e histórica: Hall
física, objeto de la, física: Galbraith; Whewell 2
física, status: Whewell 2
hechos elementales de la: Demay
hipótesis de la: Chamberlin 3
hipótesis ultrajantes de la: Davis 3
historia de las ideas en la: Coombs; Eisley; Gillispie; Hölder; Launay
histórica: Becker; Bucher 2; Ebert; Feuer 2; Gillispie; Harrassowitz 2; Johnson 1; Moore 2; Schneer; Vogelsang
histórica y científica: Bucher 1; Bradley
idea fundamental de la: Le Conte

ignorancia de la, por parte de los funcionarios del gobierno: Read 2
insuficiencia de la teoría de la: Whewell 1
investigación de la: Bucher 2
la, base de una opinión mundial racional: Haarmann
la, ciencia de la historia de la Tierra: Read 3
la, ciencia histórica: Bemmelen 1, 2; Cannon 3; Carnap; Judson 1; Le Conte; McLaren; Merriam; Nagel; Parks; Schindewolf 1; Schneer; Umbgrove; Walther
la, ciencia natural explicatoria: Khain 2; Schwinner
la, ciencia natural histórico-teórica: Miller, H.
la, ciencia paleoetiológica: Whewell 2
la, en conflicto con la religión, Inglaterra, 1790-1850: Gillispie
la, en el carácter cíclico de la historia geológica: Lucius
la, en la edad de la Tierra; la, en la evolución de ideas: Greene
la, en la historia universal de la Tierra: Davis 2
la, en las bases de la sociedad industrial moderna: Read 2
la, en relación a las hipótesis astronómicas: Nölke
la importancia para los geólogos de la historia de la: Potonié
la, no como una ciencia exacta: North 2
la, no como una ciencia histórica: Bubnoff 3; Schwinner
la, no como una ciencia morfológica: Popov
la, no como una ciencia que predice: Grabau
la, reflejada en la literatura: Lamont
leyes de la: Bucher 1; James; Kitts; Whewell 2; Woodford
limitaciones temporales: Bemmelen 2
límites del conocimiento de la: Harrassowitz 2
lineamientos de investigación en la: Nolan
literatura de la: Roger
matemática: Krumbein 1; Leopold; Scheidegger
meta de la: Khain 2; Launay
método de la: Gilbert 1, 2; Launay; Lucius; Woodford 1
método histórico de la: Bubnoff 1; Goguel 2
método inductivo de la: Le Conte
militar: Read 2
modelo de la: Hubbert 1; Jacobs; Judson 1
Mosaica: Haber
motivos para estudiar la: Bucher 2
nomenclatura de la: Whewell 2
objetivo de la: Beurlen 2; Bubnoff 3; Galbraith; Hall; Lyell; Sollas; Spencer; Wright
objetivo de la; en la escuela secundaria; Bubnoff 2
objetivos de la: Emmons, Page
observación, interpretación y teoría de la: Demay
observaciones de la: Chamberlin 3; Haughton; Haarmann
obstáculos para el desarrollo de la: Rossiter
opiniones de Rickert de la: Collingwood 1
palabras básicas de la: Rossiter
peculiaridades de la: Grabau
"periodo clásico" de la: Khain 2
"periodo crítico" de la: Khain 2
"periodo heroico" de la: Khain 2

"periodo transicional" de la: Khain 2
postulados bíblicos de la, británica del siglo XVIII: Millhauser
predicción de la: Krumbein 1; Teichert 2
predicción y retrodicción de la: Schrödinger
principios de la: Emmons
problemas de la: Launay
procesos de la: Bucher 2
progresos de la: Coombs
pura y aplicada: Coombs
relación de la, con la arqueología: Judson 3
con la biología: Mayr 1
con la cosmogonía: Sollas
con la filosofía: Cotta
con la geofísica: Goguel 1; Gutenberg; Houghton; Hubbert 2; Wilson, J. T. 1
con la geografía: Davis 2
con la historia: Collingwood 2; Cotta; Judson 3; Schwinner
con la ingeniería civil: Read 2
con la paleontología: Moore 1; Schindewolf 2
con la pedología: Schaufelberger
con las ciencias biológica y física: Teichert 2
con otras ciencias: Bemmelen 1; Bubnoff 2; Hubbert 2; Lyell; Miller, B.; Vogelsang; Wright
sistemática de la: Judson 1
suposiciones básicas de la: Chamberlin 3; Woodford 1
tema central: Bradley
tendencias metafísica y antihistórica de la: Goordeev 1
teorías predominantes de la: Chamberlin 3
valores humanos de la: Hawkins 2
Geología aplicada a la ingeniería o geología ingenieril
objeto de la: Galbraith
Geología bíblica
"teoría del intervalo" de Chalmer en la: Millhauser
Geología del petróleo
objeto de la: Galbraith
Geología económica (*véase* Geología aplicada)
Geología económica comparada (*véase también* Geología aplicada)
casos históricos de la: Joralemon
Geología estocástica
Brown 2
Geología estructural
con relación a la estratigrafía: Billings; Wegmann 2
etapa y estilo tectónico de la: Wegmann 2
interpretaciones de la, a nivel del materialismo dialéctico: Popov
objeto de la: Galbraith
términos analíticos, dinámicos y sintéticos en la: Wegmann 2
tesis geotectónicas de la: Sonder
Geología experimental
Bemmelen 1; Coombs; Demay; Leclercq
aspectos geoestáticos y geodinámicos de la: Broggi
comienzos de la: Wegmann 3
contra ciencia natural: Miller, H.

experimentos engañosos en la: Kuenen
limitaciones de la: Bemmelen 2
problemas adecuados a la: Kuenen
tectónica en la: Beurlen 2
teoría de la, de los modelos a escala: Hubbert 1
valor de la: Kuenen
Geología física (*véase* Geología)
Geología glacial
en relación a la geología del Pleistoceno y a la geomorfología: Horberg
errores metodológicos de la: Westgate
Geología histórica (*véase también* Historia)
antecedentes históricos de la: Merriam
en lo concerniente a las sucesiones temporales: Lenzen
fases evolutivas y revolucionarias de la: Interdept. Strat. Comm., USSR
objeto de la: Galbraith
periodicidades en la: Interdept. Strat. Comm., USSR
reconstrucciones gráficas de la: Schrödinger
Geología metamórfica
en lo que concierne al tiempo y a la historia: Read 1
estructuras relictas de la: Read 1
principio esencial: Read 1
Geología minera
objeto de la: Galbraith
Geólogos
clásicos y románticos: Bemmelen 1
contribuciones de los, a la sociedad: Nolan
especialización de los: Nolan
hábitos de pensamiento de los: Nolan
intercomunicación de los: Roger
motivación de los: Woodford 2
número creciente de: Nolan
Geomorfología
análisis dimensional en la: Strahler 2
análisis morfológico de la: Penck
aproximaciones dinámica e histórica en la: Strahler 1
base dinámica de la: Strahler 1
ciclo geográfico en la: Hack
complejidad de la: Davis 5
concepto de la entropía en la: Leopold
debilidad de la, davisiana: Béthune 2; Judson 1, 2
desarrollo del pensamiento en la: Dylik
disciplina geológica en la: Judson 1
el ciclo de erosión en la: Béthune 2
errores en la: Davis 5
evolución del paisaje: Judson 1; King 1; Leopold
explicaciones antropomórficas en la: Baulig 2
física: Davis 5
geográfica: Bryan
histórica: Bryan; Horberg
la, y su relación con la geología: Davis 5; Watts
la, y su relación con la geología glacial y del Pleistoceno: Horberg

la, y su relación con la geología y geografía: Bryan
la, y su relación con otras ciencias: Dylik; Miller, J. P.
leyes de la: Chorley; Horton
límites de los procesos en la: Baulig 2
magnitud y frecuencia de los procesos en la: Wolman
matemática: Baulig 3; Davis 5; Horton; King 1; Strahler 1
metodología de la, de W. M. Davis: Baulig 3
métodos empíricos y racionales en la: Strahler 1
modelo de la: Judson
objeto de la: Galbraith
observaciones de la: Davis 5
procesos endogenéticos en la: Penck
procesos exogenéticos en la: Penck
progreso y problemas comunes: Miller, J. P.
razonamiento deductivo de la: Béthune 2; Daly 2
sistemática: Judson
teoría de la, de los sistemas variables: Melton
teoría de la, del ciclo erosional: Béthune 1
teorías cíclicas de la: Hack
teorías de la, de la evolución de los paisajes: Hack
terminología de la: Baulig 3
uniformista: Dylik; King 2
uso de los términos antropomórficos de Davis en la: Judson 1
valor disciplinario de la: Davis 5
Geotectónica
síntesis teórica de la: Sonder
Goethe
concepciones geológicas de: Semper
Gradientes geotérmicos
cambios en los, desde comienzos del Precámbrico: Roever
Gradualismo
James Hutton's; Tomkeieff 1
El, en la extensión filosófica del cálculo newtoniano: Tomkeieff 1
Granito
orígenes del: Read 3
Great Chain of Being
Tomkeieff 2

— H —

Hiatos estratigráficos
Barrell; Blackwelder; Hawkins 1
efectos de los, en los contactos bioestratigráficos: Berry 2
Hipodigma
Simpson 6
Hipótesis
de la actividad desigual: Crickmay
de trabajo: Chamberlin 1
en relación a la ocurrencia del petróleo: DeGolyer
equivocadas para las leyes: DeGolyer

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M.G.

geológicas falsas: Lahee
geológicas: Pruvost; Woodford 2
geotectónicas: Sonder
múltiples: Chamberlin 1; Gilbert 1, 2; Johnson 2; Woodford 2
origen de las: Gilbert 2
perpetuación de las: Pruvost; Vysotskii 2
universales en la historia: Hempel 1
Hipótesis de Gilbert de las hipótesis
Historia
comparada del pensamiento de los historiadores, geólogos y paleontólogos: Cassirer
conservación de los valores de la: Weber
cósmica: Weizsäcker
de la ciencia histórica: Popper 1
del actualismo en la historia humanística: Collingwood 1
del conocimiento histórico contra el teórico: Miller, H.
en contraste con la ciencia: Schwinner; Weber
enunciados históricos de la: Gould
estructura lógica de la: Cassirer
evidencia de la: Simpson 5
exclusiva a la que le concierne el hombre: Schwinner
explicación de la: Hempel 1
filosofía de la: Collingwood 1
geográfica: Davis 5
humanística: Collingwood 1
irreversibilidad de la: Weizsäcker
la, y su relación con la geología: Cotta
la, y su relación con la segunda ley de la termodinámica: Weizsäcker
limitada a las cuestiones humanas: Mises
natural: Weber
propósito de la: Collingwood 1
reconstrucción de la: Simpson 5
síntesis de la: Weber
térmica: Jacobs
Historia de la geología
Haarmann
bibliografía y citas de la: Hölder
explicación de ideas de la: Semper
valor de la: Geikie 2; Gilbert 1
Historia geológica
definición de la: Moore 2
registro de la: Moore 2
Historia Precámbrica
razonamiento circular en las reconstrucciones de la: James
Historicismo
Beringer
contribución de la geología y de la paleontología al: Haber
Holismo
El, en la geología: Popper 1
y evolución: Broom
Homogénesis

Berry 1
Homotaxis
Amer. Comm. on Strat. Nomenclature; Henbest; Huxley 1; Jeletzky 1; Kobayashi; Nicholson
Hutton, James
contribuciones de: Lake; Whewell 2
filosofía de: Belousov; Tomkeieff 1
fundador de la geología moderna: Tomkeieff 1
impacto de, en la filosofía del siglo XVIII: Haber

— I —

Idealismo
Cailleux
Imaginación
papel de la, en los conceptos geológicos: Kalkowsky
Indeterminismo en la evolución
Simpson 1, 2
Individualidad biológica
Simpson 1
Inducción
carácter predecible de la: Herschel 2
en la geografía: Davis 5; Béthune 2
inductivismo en la: Popper 2
natural: Herschel 2
problema de justificación de la: Goodman 2
Intuición
en el descubrimiento científico: Popper 2

— L —

Legalidad, principio de la
en relación a la uniformidad: Hooykaas 2
Lenin, V. I.
contribuciones de, a la filosofía geológica: Gordeev 1
Ley
de Cope: Simpson 2
de Cuvier: Saint-Seine
de Deperet: Simpson 2
de Dollo: Beringer; Goudge 3; Simpson 2
fundamental de la geomorfología: Penck
Ley de Stromer
Simpson 2
Ley de Williston
Williston
carácter estadístico de la: Simpson 2, 3
Ley(es)
de áreas contribuyentes: Chorley
de la continuidad original: Steno (*véase* Winter)

de la correlación morfológica (de Cuvier): Gould
de la horizontalidad: Steno (*véase* Winter)
de la longitud de las corrientes fluviales: Chorley
de la sucesión faunal: Teichert 2; Schneer; Wheeler 2
de la sucesión vertical: Wheeler 4
de la superposición: James; Jeletzky 1; McLaren; Moore; Steno (*véase* Winter); Wheeler 2; Whittard; Wilson, J. A. 1
de la tendencia a lo complejo: Parks 1
de las áreas de las cuencas de drenaje: Chorley
de las facies: Gressly
de las pendientes de las corrientes fluviales: Chorley
de los números de las corrientes fluviales: Chorley
del diastrofismo: Bucher 3
del progreso: Page
Leyes
bibliografía de las, biológicas: Jepsen
científicas: DeGolyer
complejidades de las: Sedgwick
de facies de Gressly: Gressly; Teichert 1
de Horton de la morfometría: Charley; Horton
de la evolución orgánica: Rensch; Simpson 2; Small
de la imprecisión; Scriven 2
de la inmutabilidad: Sedgwick
de la sucesión histórica: Kitts
de los enunciados en la probabilidad estadística: Hempel 2
de Lyell: Mitchell
de Playfair (*véase* G. W. White en Playfair)
de Steno: Woodford 1
de Stromer: Simpson 2
de Williston: Simpson 2, 3
del volumen de Lindgren: Barth
en la explicación científica: Scriven 1
en la historia: Hempel 1
enunciados universales de las: Hempel 2
evolutivas: Hawkins 2
físicas y biológicas: Carnap; Nagel
geológicas: Khain 1; Kitts; Schäfer; Whewell 2; Woodford 2
geomorfológicas: Horton
geotectónicas: Sonder
históricas: Kitts
las dos, de Gilbert de la erosión: Davis 4
naturales: Goudge 3; Kemeny; Scriven 2
paleontológicas: Williston
y Principio de Dacque: Simpson 2
y Regla de Bergmann: Rensch
y Regla de Cope: Rensch
y universales: Popper 1
Leyes de las facies de Gressly
Gressly; Teichert 1
Lógica
contraria a los métodos de la ciencia natural: Miller, H.

Lyell, Charles
valuación de sus "Principios": Lake

—M—

Mapas geográficos
Davis 5
Mapas geológicos
Robertson; Whewell 2
aspectos cuantitativos de los: Krumbein 2
carácter hipotético de los: Rutten 1
complejidad de los: Wilson, J. T. 1
escala de los: Linton
filosofía de la cartografía de los: Lasky
historia de los: North 2
ideal de los: Linton
imperfecciones de los: Rios
importancia de los: North 1
incompatibilidades en los patrones de colores de los: Linton
inconsistencias de los símbolos en los: Linton
naturaleza subjetiva de los: Lasky
rocas metamórficas en los: Billings
Materia
aspectos temporales de la: Gignoux
evolución en los conceptos de la: Gignoux
Materialismo dialéctico
Khain 1
bases en la historia de la naturaleza del: Engels
de Lomonosov: Aprodov
en la "lucha de lo opuesto": Popov
en relación a la geología: Gordeev 1
leyes del: Engels
Materialismo en la geomorfología
Cailleux
Mediciones en las geociencias
niveles de información de las: Griffiths
nominales, ordinales, intervalos y escalas de relación: Griffiths
Mente diplomática
trabajos de la, en la paleontología: Rastall
Método lyelliano (*véase* Uniformidad, principio de la)
Método ontológico (*véase* Uniformidad, principio de la)
Metodología
Chamberlin 3
análisis dimensional: Strahler 2
cambios cíclicos en el estilo de la: Moulton
clasificación de la: Johnson 1
de Gilbert: Davis 4
conformación y revisión de las hipótesis en la: Johnson 1
de Davis: Baulig 3
de la geología económica comparativa: Joralemon
de la verificación de hipótesis: Johnson 1

de las hipótesis de trabajo: Chamberlin 3
de las hipótesis regenerativas: Chamberlin 3
de los métodos matemáticos en geología: Scheidegger
deducción e inducción en la: Johnson 1
del método morfológico: Watson
del método ontogenético: Kaiser
del método ontológico: Harrassowitz 1; Walther
del método tectónico: Walther
del solvente universal de Davis: Krynine
en la geohidrología: Le Grand
en la geología glacial: Westgate
en las hipótesis de trabajo múltiples: Bemmelen 2; Chamberlin 1, 3; Johnson 1
generalización de la: Johnson 1
informando de la: Johnson 2
interpretación de la: Johnson 1
invención de la: Johnson 1
método analítico de la: Johnson 2
método astrofísico de la: Walther
método experimental de la: Walther
observación de la: Johnson 1
observaciones no exageradas de la: Chamberlin 3
ontología comparativa de la: Bemmelen 1, 2
para la reconstrucción de la historia Precámbrica: Raguin
suposiciones básicas de la: Chamberlin 3
teoría dominante en la: Chamberlin 3
Métodos matemáticos en la geología
Scheidegger
análisis estadístico en los: Krumbein 1
cautela en los: Rutten 1
Michurinismo
Simpson
Mineralogía
análisis de los depósitos de minerales en el espacio-tiempo en la: Amstutz
asociaciones mineralógicas en la: Niggli
concepto de lo individual en la: Whewell 1
distinción entre la geología y la: Whewell 2
la, como rama de la química inorgánica: Bliss
minerales comparados con los organismos en la: Niggli
objeto de la: Galbraith
Modelos a escala
aplicados a las estructuras geológicas: Hubbert 1
Movimiento romántico
influencia del, en la geología: Tomkeieff 1

— N —

Naturaleza, idea de la
Collingwood 2
Navaja de Occam (*véase* Simplicidad, principio de)
Neocatastrofismo

Jeletzky 2, Parks 1
Neptunismo
Gillispie; Greene; Tomkeieff 2
el, comparado con el plutonismo de Hutton: Wegmann 3
Nomenclatura
Amer. Comm. on Strat. Nomenclature; Chamberlin 4
ambigüedad de los términos estratigráficos en la: Arkell 2
ambigüedad de los términos sistemáticos en la: Piatnitzky
complejo indebido paleontológico de la: Rastall
nombres propios en la: Wadell
Nominalismo contra realismo
Popper 1
Nominalismo metodológico
Popper 1

— O —

Objetivización
Schrödinger
Observaciones
clasificación de las: Krumbein 1
extrapolación en las: Wilson, J. T. 2
geológicas: Koch
Orden natural
postulado del: Johnson, M.
problema del: Simpson 5
Orogénesis
proceso geológico fundamental en la: Wilson, J. T. 1
pruebas para fechar la: Spieker
Ortocronología
Schindewolf 1
definición de la: Teichert 2

— P —

Paleobotánica (*véase también* Paleontología)
contribución de la, a la filosofía de la geología: Gordon
desarrollo de la: Gordon
interpretaciones paleoclimatológicas de la: Barghoorn; Gordon
principios de la: Barghoorn; Seward
Paleoclimatología
aproximaciones deductiva e inductiva de la: Smiley
evidencia, de la botánica para la: Seward
de la paleobotánica para la: Barghoorn
de la paleolimnología para la: Deevey 2
de la paleontología de vertebrados para la: Colbert
rama de la paleogeofísica: Lauterbach
y su relación al principio de la uniformidad: Beurlen 2
Paleoecología (*véase también* Paleontología)
bibliografía de la: Ladd
evidencia de la: Cloud; Ladd

objeto de la: Ladd
parentesco de la, con la ecología: Gunter
plantas de la: Seward
principio de la asociación paralela en la: Cloud
principio de la uniformidad en la: Colbert
principios de la: Cloud
problemas de la: Cloud
razonamiento analógico de la: Cloud
Paleogeofísica
definición y objeto de la: Lauterbach
Paleolimnología
contribución de la paleoclimatología a la: Deevey 2
principios de la: Bradley
Paleontología (*véase también* Paleobotánica y Paleoecología)
analogía y homogenia: Osborn
aplicación de la, a la geocronología: Smiley
artificiosa de las especies: Kermack
aspectos biológicos y estratigráficos de la: Newell 3
aspectos históricos de la: Osborn
base de la geocronología: Jeletzky
categoría de la micropaleontología en la: Schindewolf 2
ciencia biológica: Cooper; Osborn
complejidad de la nomenclatura de la: Rastall
concepto de especie en la: Wedekind
concepto estratigráfico de la, en la paleontología de vertebrados: Wilson, J. A. 1
contribución de la, a la teoría evolutiva: Collingwood 2
a la evolución orgánica: Simpson 4
a las humanidades: Schindewolf 3
a las otras ciencias: Schindewolf 3
definición de fósil en la: Ladd
definición de la: Stubblefield
desarrollos de la, entre 1908–1958: Romer 2
dificultades para el estudio de la: Cooper
estudio histórico de la: Hawkins 1
filosofía de la: Parks 2
importancia de la, en la clasificación estratigráfica: Interdept. Strat. Comm., USSR
importancia de la, en la geología: Parks 2; Schindewolf 2
la, ciencia cuasihistórica: Collingwood 1
la, como fundamento de la Geología: Marsh
la, en la conservación de los fósiles: Ladd
la, en la historia de las ideas sobre la naturaleza de los fósiles: Ladd; Marsh; Schindewolf 3
la, en los minerales fósiles: Ladd
la muestra paleontológica en la: Simpson 5
ley de la, de la tendencia a lo complejo: Parks 2
leyes de la: Huxley 1
límites de precisión cronológica en la: Jeletzky 1
método morfológico de la: Watson
objeto de la: Cooper; Galbraith; Schindewolf 2, 3

objeto de la, en la paleontología de vertebrados: Romer 2
predicciones de la: Saint-Seine; Watson
probabilidad de descubrir especímenes fósiles en la: Newell 3
problemas de la: Schindewolf 3
proposiciones básicas de la: Huxley 2
proposiciones de la: Huxley 2
pura y aplicada: Schindewolf 2
relación de la, con la biología y geología: Cooper; Romer 2
con la neontología: Hawkins 1
con la estratigrafía: Schindewolf 2; Stubblefield
con la zoología: Wedekind
con otras ciencias: Marsh
subdivisiones de la: Schindewolf 3
suficiencia de los estudios evolutivos del registro fósil en la: Newell 3
suficiencia del registro fósil: Simpson 5
Paleontología estratigráfica
básica para la geología histórica: Henbest
con relación a la biología y a la geología: Moore 1
empírica: Moore 3
Paleooceanografía
como rama de la paleogeofísica: Lauterbach
Paracronología
Schindewolf 1
Parsimonia (*véase* Simplicidad, principio de la)
Pedología
contribuciones geológicas a la: Schaufelberger
Periodicidad (*véase* Fenómenos cíclicos)
Periodicidad y evolución
lyelliana: Vysotskii 2
Perspectivas mundiales
contrastadas de la geología y de la física: Melton
Petrografía
objeto de la: Galbraith
Petrología
aspectos evolutivos de la: Loewinson-Lessing
conceptos básicos de la: Loewinson-Lessing
experimental: Coombs; Loewinson-Lessing
ígnea: Read 3
objeto de la: Galbraith
principio de la continuidad en la: Deer
principio del actualismo en la: Loewinson-Lessing
teorías de la: Loewinson-Lessing
teórica: Barth
Pisos estratigráficos
desarrollo del concepto: Stubblefield
Pleistoceno
cronología del: Brouwer
y su relación a la geología glacial y a la geomorfología: Horberg
Plutonismo
Deer; Playfair

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M.G.

análisis del sistema de Hutton del: Wegmann 3
crítica al: Lyell
del sistema de Hutton: Playfair
el, comparado con el neptunismo: Wegmann 3
rasgos cíclicos en el, en el sistema de Hutton: Wegmann 3
Poblaciones geológicas
Krumbein 1
Positivismo
Miller, H.; Mises
Postdicción
carácter lógico de la: Hempel 2
Postulados geológicos
sobre la continuidad de la sedimentación: Chamberlin 2
sobre la continuidad de la vida: Chamberlin 2
Predicción
Hempel 1; Popper 1
carácter lógico de la: Hempel 2
científica: Scriven 1
ejemplos de, en la paleontología de vertebrados: Rensch; Watson
geológica: Kitts
Prehistoria
Judson 3
Principio cosmológico perfecto
crítica al: Munitz
Principios
continuidad de los: Davis 2; Deer; Nicholson
de Dacque: Simpson 2
de la continuidad original: Schenck
de la cosmólisis: Blanc
de la extensión lateral: Schneer
de la horizontalidad: Schenck
de la horizontalidad inicial: Schneer
de la inyección: Schneer
de la sucesión faunal: Schenck; Schneer
de la superposición: Schenck
de la tipotopología: Schenck; Schneer
de la transgresión temporal: Wheeler 2
de la uniformidad: Schenck
de las etapas intermedias: Lucius
sobre la concentración de sustancias minerales: Russell
tres, de Steno: Schneer
Probabilidad
Popper 2
geológica: Lasky
palabras que expresan la verosimilitud de la: Brown 1
Problemas geológicos
análisis de los: Johnson 1
ataque de los: Woodford 2
Procesos
geomórficos: Wolman
Procronismo

de Gosse: White
Proestratigrafía
Schindewolf 4
Prognosis
Popper 1
Progresionismo
Eisley
Progreso
evolutivo: Simpson 3, 5
ley del: Page
Propósito
del problema en la evolución: Simpson 5
Proterohistoria
principio de la uniformidad en la: Hooykaas 2
Providencialismo
Gillispie; Hawkins 2; Hutton; White
concerniente a la historiografía de *recristiano*: Collingwood
Pseudosustitución
teorías de la evolución orgánica: Grene
Psicologismo
Popper 2

— R —

Razonamiento geológico
Kober
Reconocimiento
teoría y economía: Brown 2
Registro fósil
confiabilidad en el: Newell 2
conservación del: Newell 2
imperfección del: Hawkins 1; Lyell
naturaleza del: Newell 2
poblaciones fósiles del: Newell 2
preferencia del: Newell 2
suficiencia del: Clarke
vacíos causales del: Newell 2
Retrodicciones
ejemplos de, en paleontología: Gould
Revolución Industrial
influencia de la, en el surgimiento de la geología: Tomkeieff 1
Revolución lyelliana
Haber
Revoluciones geológicas
ejemplificadas en el contacto Mesozoico-Cenozoico: Jeletzky 2
Rocas ígneas
concepto de las: Deer
Rocas metamórficas
importancia de la estratigrafía en las: Billings
representaciones cartográficas de las: Billings

— S —

Secciones columnares
asimetría y transitividad de las: Griffiths
Sentencias de protocolo
Popper 2
Serie estratigráfica
desarrollo del concepto: Stubblefield
Símbolos
de la cartografía geológica: Robertson
Simplicidad, principio de la
Barker 1; Bondi 1; Feuer 1, 2; Goodman 1, 3; Herschel 1; Laird; Popper 2; Seares; Thorburn; Wilson, J. T. 2
aplicado, a la arqueología: Deevey 1
a la cosmología: Bondi 2; Gold
a la geología estructural: Anderson; Andrews
a la geología histórica: Barker 2; Bretsky
a la historia: Collingwood 1
a la historia estructural: Spieker
a la mecánica y a la física: Baulig 2
a las hipótesis geológicas: Simpson 5
a las leyes de la naturaleza: Öpik
a las teorías científicas: Bunge
a las teorías de la evolución: Grene; Simpson 3
a las teorías evolutivas teológicas: Romer 1
al deslizamiento de las fallas: Woodford 3
al principio intelectual fundamental: Bridgman
al producto final de la evolución: Blanc
con parentesco con la uniformidad: Barker 2; Hooykaas 2
creencia deseada: Jennings
en el principio metodológico: Feuer 1; Hawkins 1
limitaciones del: Bunge
metacientífico: Feuer 1; Hawkins 1
metalógico: Tsilikis
origen del: Thorburn
postulado del: Gold
relacionado con la cosmólisis: Blanc
tipos de: Bunge
Sin progresionismo
Eisley
Singénesis
Amstutz
Sistemas estratigráficos
desarrollo del concepto de los: Stubblefield
terminología de los: Wilmarth
Sistemas éticos
naturalistas: Simpson 3
Sistemática
definición de la: Simpson 6
Smith, William
contribuciones de, a la geología descriptiva sistemática: Whewell 2

nomenclatura estratigráfica de: Whewell 2
Steno
leyes de: Steno (*véase* Winter)
postulado de: Woodford 2
Sucesión faunal, principio de la
Newell 4; Rutten
deducida de las leyes de la superposición y de la evolución orgánica: McLaren
importancia del, para el concepto del tiempo geológico: Hawkins 1
importancia del, para la evolución orgánica: Hawkins 1
ley del: Wheeler 2
Superposición
base de la ciencia geológica: Spieker
ley de la: James Jeletzky 1; McLaren; Moore 3; Richey; Rutten 3; Schindewolf 4; Wheeler 2; Wilson, J. A. 1; Woodford 2
Superposición Superior
Simpson 4

— T —

Taxa
bases evolutivas de la: Simpson 6
Taxonomía animal
principios de la: Simpson 6
Teísmo
en el pensamiento geológico: Parks 1
Teleología
Davis 5
pensamiento biológico de la: Beckner
teorías de la evolución de la: Romer 1
Temas "irregulares"
Scriven 1
Teoría
comprobación de la: Popper 2
de la deriva continental: Tasch
dominante: Chamberlin 1
falsedades de la: Lahee
geotectónica: Sonder
sistemas variables aplicados a la, de la geomorfología: Melton
trabajo de la: Chamberlin 1
Terminología geológica
ambigüedad de la: Watznauer
estratigráfica: Wheeler 3
estructural: Wegmann 2
excesiva elaboración de la: Chamberlin 4; Watznauer
genética contra descriptiva: Baulig 1
geomórfica: Baulig 1
nombres propios de la: Wadell
origen de los términos eras, periodos y épocas de la: Wilmarth
Termodinámica
en relación a la geología histórica: Jacobs; Weizsäcker
Tesis

geotectónica: Sonder
Tetrakis
aplicada a las ciencias geológicas: Koch
Tiempo
abstracto: Jeletzky 1
aspectos reversibles del, en la física clásica: Wiener
bergsoniano: Cleugh; Gignoux; Wiener
biocrón: Teichert 2
bioestratigráfico: Teichert 2
calendarios contra cronologías: Shotwell
cantidad básica de, en la física: Johnson, M.
concepto del: Spencer
conceptual: Cleugh
contemporáneo: Teichert 2
correcto: Cleugh
cosmológico: Milne
cronomineral en el: Kobayashi
dirección del: Weizsäcker
"duración" del: Cleugh
en relación al cambio: Cleugh
escalas apropiadas del, para diferentes disciplinas: Gignoux
escalas del: Haldane 1
físico: Cleugh
físico e histórico: Weber
físico y psicológico: Johnson, M.
geológico: Hutton; Jeletzky 1; Page; Teichert 2
basado sobre zonas paleontológicas: Newell 4
base de subdivisión del: Morrison
cambios en el concepto del: James
clasificación cronoestratigráfica del: Hedberg 1
comparado con el tiempo común: Lane
comprensión del: Hawkins 2
concepto básico de las ciencias terrestres del: Scrope
concepto del: Kobayashi; Rutten 3
conocimiento de lo eterno y del límite del tiempo en el: Bucher 2; Strahler 1
criterios para determinar la contemporaneidad de los estratos en el: Lane
cronoestratos en el: Kobayashi
cronozona en el: Kobayashi
desarrollo de la escala del: Bülow 1
descubrimiento de Hutton del: Eisley
determinación de horizontes cronológicos en el: Wheeler 1
determinado por bioestratigrafía: Wedekind
el fósil cronológico en el: Kobayashi
en el orden cronológico de los estratos, el: Shrock
en el plutonismo, el: Read 3
en la estratigrafía, el: Suzuki
epiboli: Teichert 2
escala absoluta del: Kulp
escala del: Bell
escalas del: Whittard

estimado: Geikie 1
estratigrafía del tiempo en el: Schindewolf 4; Wheeler 3
estratigráfico: Wheeler 4
evidencia del: Goodchild
evolución de ideas en el: Haber
evolución de ideas extremas en el: Hawkes
hemera del: Teichert 2
historia de la escala del: Williams
importancia de los fósiles en el: Williams, H. S.
importancia para el pensamiento uniformista del: Rutten 3
incompatibilidades en la escala del: Bülow 1
inmensidad del: Lyell
instante-duración-eternidad en el: Kobayashi
instante en el: Teichert 2
intervalos en el: Bell
irreversible: Wiener
la teilzona en el: Teichert 2
marino contra continental: Kobayashi
mediciones en el: Hunt; Smiley
métodos para obtener fechas absolutas de: Zeuner
naturaleza del: Spieker
normal paleontológico: Jeletzky 1
origen de la terminología del: Wilmarth
perspectivas del: Teilhard
preactualístico: Rutten 2
problemas temporales del: Smiley
reinterpretación cíclica de la escala del tiempo en el: Bülow 1
rocas metamórficas en el: Read 1
tiempos parciales normales del: Jeletzky 1
un momento en el: Teichert 2
unidades cronoestratigráficas en el: Amer. Comm. on Strat. Nomenclature; Hedberg 1
unidades cronológicas y cronoestratigráficas del: Bell
histórico: Page; Teichert 2
histórico contra físico: Kobayashi
importancia del, para la geología: Kulp
irreversible en la evolución y en la biología: Cleugh; Wiener
la escala del tiempo del universo en el: Öpik
límites del, comparados con los acontecimientos biohistóricos: Camp
medida del: Teichert 2
newtoniano: Teichert 2
newtoniano contra bergsoniano: Wiener
pasado: Teichert 2
percepción del: Cleugh; Teichert
perspectiva histórica del: Shotwell
preactualístico: Macgregor
pregeológico: Page; Ramsay
psicológico: Cleugh
sentido del: Shotwell
sucesiones temporales y lógicas del: Collingwood 1
tiempo-espacio del: Cleugh

tiempo radiactivo normal del: Jeletzky 1
Tipología
concepto de la: Simpson 6
Tipotopología
principio de la: Schenck
Transgresión temporal
principio de la: Wheeler 2

— U —

Unidades climáticas geológicas
definición de las: Amer. Comm. on Strat. Nomenclature
Unidades cronoestratigráficas
Amer. Comm. on Strat. Nomenclature; Hedberg 1; Schenck
Unidades cronoestratigráficas (*véase* Unidades cronoestratigráficas, Tiempo)
Unidades estratigráficas pedológicas
definición de las: Amer. Comm. on Strat. Nomenclature
Unidades geocronológicas
definición de las, nomenclatura de las, rangos de las: Amer. Comm. on Strat. Nomenclature
Unidades litoestratigráficas
Amer. Comm. on Strat. Nomenclature
Unidades naturales
Koch
Uniformidad, principio de la (*véase también* Actualismo)
Berry 2; Beringer; Bradley; Davis 2; Eisley; Gillispie; Greene; Haarmann; Hall; Hawkins 2; Herschel 1; Hoff; Hutton; Kemeny; Lamont; Launay; Mason; Miller, H.; Read 2; Schäfer; Schenck; Seares; Smiley; Tomkeieff 2; Vogelsang; Wegmann 1, 3; Woodford 2
a la luz de la paleoclimatología: Beurlen 2
afirmación del: Watts
ambigüedad del: Hooykaas; Sollas
aplicaciones del: Lucius; Watts; Walther
aplicado a(l):
Arcaico de Canadá: Wilson, M. E.
ciclo de erosión de Davis: Judson 2
fenómenos geológicamente antiguos: Passendorfer
la astronomía: Bondi 1
la bioestratonomía: Müller
la cosmología: Dingle
la deformación cortical: Hawkes
la ecología y la paleoecología: Clements
la evolución orgánica: Goudge 3
la física y la cosmología: Bondi 2
la geología: Ebert; Merriam
la geología estructural: Gilluly
la geología, la biología y la teología: Hooykaas 2
la geomorfología: Baulig 3; Dylik; King, L. C. 2
la historia Precámbrica: Raguin
la meteorología: Manley
la paleoclimatología: Barghoorn

la paleoecología de vertebrados: Colbert
la paleolimnología: Deevey 2
la paleontología: Joysey; Osborn
la paleontología y la neontología: Thomas
la petrología: Loewinson-Lessing
la teoría del equilibrio dinámico: Hack
los depósitos glaciáricos antiguos: Sandberg
origen del petróleo, de la sal y del carbón: Woolnough
problemas geológicos: Lyell
un problema geológico específico: Harrington
ataques al: King, C.; Murchison; Sedgwick; Whewell 1
axioma fundamental de la geología en el: Bubnoff 3
bases del:
para la geología histórica: Page
para la historia geomórfica: Miller, J. P.
para la metodología geológica: Le Conte
para la paleontología y la evolución: Rutten 2
para una cosmografía no evolucionista: Cannon 3
bibliografía y citas del: Hölder
carácter histórico del: Beurlen 1; Cannon 2; Hooykaas 2
concesiones del, para las catástrofes ocasionales: Goodchild
contrario a los principios termodinámicos: Kelvin 1
corregido para permitir el reconocimiento de causas antiguas: Cayeux
corrupción máxima experimental del: Kuenen
crítica al: Beurlen 2; Crickmay; Mitchell; Pruvost; Whewell 2
de De Maillet: White
de Dvigubskii: Tikhomirov
definición de ley científica del: Munitz
definición del: Lyell; Simpson 4
degeneración a dogma del: Beurlen 1
desplazamiento del, por el evolucionismo: Geikie 2; Sollas
dogma y metodología del: Beurlen 2
en Alemania: Bülow 2
en contraste con el actualismo: Vysotskii 1
en el fundamento de la geología: Davis 3
en Francia: Bülow 2
en Inglaterra: Bülow 2
en la característica del método histórico: Cassirer
en la compatibilidad con el catastrofismo: Rutten 3
en la crítica de posición de Lyell: Engels
en la evolución de las laderas: King 2
en los elementos catastróficos: Hooykaas 2
en peligro por la actitud uniformista: Lake; Toulmin, S. E. 2
en relación a la fisiografía: Davis 2
en relación a la historia geotérmica: Jacobs
esencial para la geología histórica: Poincaré
eternidad de la Naturaleza en el: Toulmin, G. H.
evidencia geofísica y astronómica contra el: Kelvin 2
falsedades del: Kelvin 1
historia de la idea del: Walther

impacto del apoyo de Herschel al, de Lyell: Cannon 4
importancia para la geología del: Simpson 4
inestable uniformismo extremo del: Le Conte
interpretaciones estrechas contra interpretaciones liberales del: Woolnough
las desventajas del: Hooykaas 2
limitaciones del: Backlund; Barrell; Vysotskii 1; Walther
limitaciones del, en la petrología: Read 3
limitaciones del, en los estudios del Precámbrico: Raguin
máxima fundamental de la geología en el: White
naturaleza hipotética del: Vysotskii 1
opiniones de Herschel sobre el: Blake
opiniones de Hoff sobre el: Ravikovich
opiniones de Hume sobre el: Blake
opiniones de Hutton sobre el: Hooykaas 2
opiniones de Jevon sobre el: Blake
opiniones de Lomonosov sobre el: Aprodov; Tikhomirov
opiniones de Lyell y de Hutton sobre el: Lake
parentesco del, con el principio de la simplicidad: Hooykaas 1
peligros al usar en forma crítica negativa el: Ravikovich; Russell
perspectivas evolucionistas del: Hooykaas 2
primeros trabajos de geólogos rusos sobre el: Tikhomirov
principio de la geología que conduce al: Rutten 2
suposición básica del: Wright
suposición del: Popper 1
suposición dudosa del: Goodman 2
suposición fundamental en la paleoecología del: Gunter
Uniformismo (*véase* Uniformidad, principio de la)
Uniformismo lyelliano: Bretsky; Cannon 3; Hooykaas 2; Ravikovich; Sollas; Vysotskii 1
actualismo orgánico de Bergson del: Losskiy
analógico específico: Watts
aspectos psicológicos del: Hooykaas 2
categoría del: Hooykaas 2
concepciones erróneas en la interpretación del: Lahee
concepto filosófico del: Losskiy
conceptos comparados de Lyell y de von Hoff del: Bülow 2
creencia deseada del: Jennings
debate uniformista-catastrofista del: Cannon 1, 4
debate uniformista–catastrofista, una consecuencia falsa del: Herschel 2
debilidad del: Kummerow
en relación:
a la geología experimental: Beurlen 2
al deísmo, al naturalismo y al ateísmo: Hooykaas 2
al principio cosmológico perfecto: Munitz
al principio de la simplicidad: Hooykaas 2
al razonamiento analógico: Lyell
error en principio del: Baker
especie de simplicidad del: Bretsky
estricto lyelliano: Ramsay
fenómenos no explicados por el: Cayeux; Hawkes

instrumento metodológico del: Judson 1
la reafirmación del: Ramsay
limitaciones temporales del: Macgregor
método científico del: Vysotskii 1, 2
método contra dogma del: Bülow 2
modificación necesaria al: Mitchell
necesidad de una reinterpretación del: Hooykaas 1
no es aplicable a la historia del océano, el: Daly 1
no es sinónimo con simplicidad, el: Lahee
no es una ley el: Kaiser
opiniones de Mill sobre el: Blake
opiniones de Newton sobre el: Blake
opiniones de Roulier sobre el: Tikhomirov
opiniones de Sokolov sobre el: Tikhomirov
opiniones no evolucionistas del: Hooykaas 2
opuesto a las opiniones de Werner, el: Lyell
persistencia actual del uniformismo al: Lake
posición paradójica en la geología del: Tikhomirov
pre-lyelliano: Ravikovich
principio metodológico del: Harrassowitz 1; Hooykaas 1
principio universal en la ciencia y en la teología del: Seeger
requiere modificaciones, el: Sherlock
resurgencia del: Hawkes
significado del: Vysotskii 2
superfluo: Baker
suplantado por la geología evolutiva: Sollas
teoría contra aplicación del: Bell
uniformidad materialista del: Dawson
uniformidad racional del: Dawson
vaguedad del: Toulmin, S. 1
Uniformista, principio (*véase* Uniformidad, principio de la)
Utilidad
en el problema de la evolución: Simpson 5

— V —

Veracidad
criterio de la: Chamberlin 3; DeGolyer
geológica: Woodford 2
Vida
origen de la: Rutten 3
unidad de la: Simpson 3
Vitalismo
evolutivo: Simpson 2
Vocabulario de la geología
inglés básico en el: Rossiter
Volcanes
como prueba contra el neptunismo: Scrope
Vulcanismo
Deer; Gillispie; Tomkeieff 2

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES

— W —

Werner
contribuciones de, a la geología descriptiva sistemática: Whewell 2
nomenclatura geológica de: Whewell 2

— Z —

Zonas paleontológicas
Wedekind; Teichert 2
clasificación de las: Teichert 2
desarrollo del concepto de: Stubblefield
unidad fundamental de la bioestratigrafía: Teichert 2
zónula de las: Teichert 2
Zonoestratigrafía
Schindewolf 2; Sigal

Notas sobre los Colaboradores

Donald B. McIntyre nació en Edimburgo y se educó en su famosa universidad que ha dado tan destacados geólogos. Durante seis años fue miembro de la facultad de la misma universidad donde tuvo la oportunidad de supervisar estudios de geología estructural y de petrología. En 1954 emigró a California incorporándose a la facultad de geología en Pomona College. Además de sus obligaciones como presidente de rama, se empeñó en investigaciones geoquímicas y se interesó particularmente en la aplicación de las computadoras a todos los aspectos de la investigación geológica.

Nativo de Connecticut, **Wilmot H. Bradley** completó sus estudios de graduado en la Universidad de Yale en 1927. Su carrera en el U. S. Geological Survey ha sido larga y brillante. Como administrador ha prestado sus servicios como Jefe de Geología Militar y Jefe de Geólogos. Como investigador se ha dado a conocer por sus contribuciones a la paleoecología, paleolimnología y geocronología. Es miembro de la National Academy of Sciences y de la American Academy of Arts and Sciences. En 1947, Yale le otorgó el título de Doctor en Ciencias.

George Gaylord Simpson, es el Alexander Agassiz, Profesor de Paleontología de Vertebrados de la Universidad de Harvard. Se instruyó en Yale, donde ya graduado comenzó los estudios de la paleontología y de la evolución de los vertebrados y desde entonces varios países le han reconocido sus méritos otorgándole medallas, premios y grados honoríficos. De sus trabajos resultó una clasificación de mamíferos mejorada y un entendimiento superior de la evolución y de las emigraciones antiguas.

David B. Kitts inició sus estudios en la Universidad de Pensilvania matriculándose más tarde en la Universidad de Columbia donde recibió el doctorado en Zoología en 1953. Después de un año de enseñanza en el Amherst College, se incorporó a la facultad de geología en la Universidad de Oklahoma donde es actualmente Profesor Asociado de Geología y de Historia de la Ciencia. Publicó trabajos sobre los mamíferos del Cenozoico y sobre la geología del occidente

de Oklahoma. Durante los pasados cinco años su interés se amplió incluyendo la historia y la filosofía de la ciencia.

Habiendo comenzado sus estudios en la Universidad de Syracuse **Vincent E. McKelvey** los terminó en la Universidad de Wisconsin en 1947. Como miembro del U. S. Geological Survey desde 1941, se ha interesado principalmente en los estudios de estratigrafía física y en la geología económica de los depósitos minerales sedimentarios. Actualmente es asistente del Jefe de Geólogos de la división de Geología Económica.

Hasta terminar sus estudios de graduado en la Universidad de California, **A. O. Woodford** regresó a Pomona College, su alma mater, donde impartió cursos de química y geología hasta que fue elegido Profesor Emérito en 1955. Ese mismo año recibió el Premio Minero en reconocimiento de sus méritos como profesor y científico. Aunque cataloga a la petrología sedimentaria como su principal campo de investigación, su variado interés recorrió el espectro de las ciencias geológicas.

J. Hoover Mackin es neoyorquino por nacimiento, washingtoniano en virtud de su larga residencia y texano por adopción reciente. Después de completar sus estudios de graduado en la Universidad de Columbia, se incorporó a la facultad de geología de la Universidad de Washington, Seattle. Durante la Segunda Guerra Mundial abandonó sus actividades académicas y trabajó con el U. S. Geological Survey en los estudios de campo de depósitos de minerales estratégicos. Recientemente aceptó una cátedra distinguida en la Universidad de Texas, donde continúa sus estudios de geomorfología y de geología aplicada a la ingeniería. El doctor Mackin es miembro de la National Academy of Sciences.

Graduado en Pomona College, **Mason L. Hill** recibió el doctorado en la Universidad de Wisconsin en 1932. Después de tres años de enseñanza en el Coalinga Junior College en California, ingresó a la industria petrolera por conducto del departamento geológico de la Shell Oil Company. En 1937 se incorporó al personal de la Richfield Oil Company y actualmente es Gerente de Exploración. El doctor Hill es el primer consejero de la Geological Society of America y es ex presidente de The American Association of Petroleum Geologist.

Charles A. Anderson es Jefe de Geólogos de la U. S. Geological Survey. Se graduó en Pomona College. Al terminar sus estudios en la Universidad de California, se hizo miembro de la facultad en la que

enseñó durante doce años. Se incorporó al Geological Survey en 1942 y prestó sus servicios como jefe de la Mineral Deposits Branch antes de reconocérsele su actual posición. Los estudios de campo recientes del doctor Anderson han estado dedicados principalmente a la intrincada geología del Precámbrico, con referencia especial a las asociaciones estructurales de los depósitos de minerales en estas rocas que son las más antiguas.

Luna B. Leopold es Jefe de Hidrólogos de la U. S. Geological Survey. Antes de completar sus estudios para el doctorado en Harvard en 1950 —un año después se incorporó al Geological Survey— trabajó con la Soil Conservation Service, Department of Agriculture, Corps of Engineers y Bureau of Reclamation. También prestó sus servicios como Jefe de Meteorólogos para el Pineapple Research Institute of Hawaii. En 1958 recibió el premio Kirk Bryan por sus contribuciones distinguidas a la geomorfología.

Después de graduarse por parte de la Cooper Union en 1931, **Walter B. Langbein** comenzó su carrera profesional como ingeniero constructor. En 1935 se incorporó al U. S. Geological Survey en donde presta sus servicios como hidrólogo. Por sus estudios de ríos y lagos y sus respuestas a los cambios climáticos, recibió los premios Distinguished Service del U. S. Department of Interior y el Horton de la American Geophysical Union.

Frederick Betz, Jr. comenzó a estudiar en Columbia y terminó de graduarse en Princeton. A lo largo de toda su carrera en la que desarrolló una actividad muy variada, su interés siempre se mantuvo en los problemas de la comunicación y empleo del conocimiento científico. La experiencia de vivir y trabajar en Europa por un largo periodo le permitió adquirir un conocimiento especial sobre el problema de las barreras del lenguaje. Por ahora, la comunicación científica es una de sus principales actividades. También es un especialista en la evaluación de terrenos y uno de los pocos expertos en la historia de las aplicaciones militares de las ciencias terrestres.

Después de terminar sus estudios avanzados en Yale, **James Gilluly** se hizo miembro del U. S. Geological Survey. Excepto por un intervalo de doce años durante el cual fue profesor de geología en la Universidad de California en Los Angeles, siempre ha sido miembro activo de este departamento geológico. Durante la Segunda Guerra Mundial fue asignado a la Unidad de Geología Militar y desempeñó el puesto de consultor para el Chief Engineer del área Pacífico del Suroeste. Siendo miembro de la National Academy of Sciences, fue premiado con la medalla Penrose por la Geological Society en 1958.

J. M. Harrison es Assistant Deputy Minister (Research) del Geological Survey of Canada. Se instruyó en las universidades del Canadá iniciando sus estudios en la Universidad de Manitoba y sus estudios de graduado en Queen's University. Después de varios años de trabajo como químico industrial, se incorporó al Canadian Survey en 1943. El principal interés del doctor Harrison son las relaciones estructurales y estratigráficas del Precámbrico de los depósitos minerales, particularmente los de hierro.

Nativo de New Jersey, **Arthur F. Hagner** inició sus estudios en la Universidad de Nueva York y se graduó en Columbia. Impartió cátedra en la Universidad de Wyoming antes de incorporarse a la facultad de la Universidad de Illinois donde ahora es Profesor de Geología. Sus estudios de campo los ha realizado principalmente en la región montañosa de los Apalaches y en las Montañas Adirondack y en la Cordillera Laramie de Wyoming. El principal interés del doctor Hagner se centra en la petrología y en el estudio de depósitos minerales.

Robert F. Legget es un Ingeniero Civil, habiendo obtenido el grado de Maestro en la Universidad de Liverpool, el LL. D. *honoris causa* de la Universidad de McMaster y el de Doctor en Ciencias *honoris causa* de la Universidad de Waterloo. Después de cuatro años de experiencia profesional en Escocia y en Londres, llegó a Canadá en 1929 y se contrató en trabajos de construcción pesada hasta 1936, que fue cuando se incorporó al cuerpo de profesores de la Queen's University, Kingston, Ontario. Continuó en la Universidad de Toronto hasta 1938 donde permaneció como maestro y consultor sobre suelos y problemas de cimientos hasta 1947. Fue invitado a concurrir a Ottawa para iniciar la Division of Building Research of the National Research Council of Canada, del cual ha sido desde entonces su director.

Claude Albritton es Profesor Hamilton de Geología y Decano de la Graduate School en la Southern Methodist University. Al terminar sus estudios de graduado en Harvard se incorporó a la facultad de la SMU, donde inició sus estudios. Durante la Segunda Guerra Mundial, se incorporó a la U. S. Geological Survey para ocuparse de estudios de geología militar y minerales estratégicos. Sus investigaciones están dirigidas principalmente a la historia del hombre primitivo en América del Norte y en la historia y filosofía de las ciencias geológicas.

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M G.

Indice

Actualismo
  referencias al, 391
Amonitas
  como fósiles guía, 105 y *sigs.*
  provincialismo de los, 133
Analogías
  como fuentes de información de las hipótesis científicas, 21, 280
  en la teoría de Hutton acerca de la Tierra, 21
  utilizadas en el razonamiento, 29
Antecedentes y consecuentes
  opiniones de G. K. Gilbert sobre los, 278
  "The Antiquity of the World" (por G. H. Toulmin) y su influencia sobre Hutton, 19
Aseveraciones estocásticas
  comparadas con las leyes físicas deterministas, 239-242
Asociación de ideas
  en el razonamiento geológico, 233-236
  en el razonamiento paleontológico, 235
  principio de la, 235
  relación de la, con el principio de la uniformidad, 234-235
  tipos de, 234
Aspectos del paisaje
  y su variancia inherente, 241-242

Berkey, Charles P.
  contribuciones de la geología a la ingeniería de, 323
Bioestratigrafía
  referencias a la, 392
Biología
  comparada con la geología, 37
Brinkmann, Roland
  estudios estadísticos de los fósiles por, 107 y *sigs.*
Brunel, Isambard Kingdom
  sus realizaciones en la ingeniería civil, 319-320
Bucher, Walter H.
  leyes estructurales de, 31

Cambios faunales
  relación de los, con las lagunas, 140-141
Carga de las corrientes, 194-202
Catástrofes
  referencias a las, 392
Catastrofismo
  dogmas del, 48
  referencias al, 392-393
  sofisma del, 62-63
Cenozoico
  correlaciones del, 138
Ciencia
  analítica, 101
  exacta, 147
  exploratoria, 96, 101
  histórica, 30-41
    estrategia en la, 59-65
  inexacta, 147
  método de investigación de la, 177-179
  no histórica, 59
  predecible, 65-66
  referencias a la, 393

Clasificación
comparada con el ordeamiento, 209-210
de las fallas, 211-215
dificultades de la, en la geología, 334-335
geomorfológica, 237
papel de la, en la geología, 209-220
petrológica, 289-292
referencias a la, 393
reglas de, aplicadas a la clasificación dual de fallas, 218-220
Columna geológica
problemas de lagunas en la, 140
Comunicación
barreras idiomáticas para la, 269-270
"ciencia" de la, 245
elementos de trabajo de la, 246
geológica, 245-275
Consecuentes y antecedentes
opiniones de G. K. Gilbert sobre los, 278
Conservación de los recursos naturales, 328
Correlación cronológica
ejemplo de, 131 y *sigs.*
por fósiles, 103-142
Corrientes fluviales
propiedades físicas de las, 183 y *sigs.*, 239-241
Cronoestratigrafía
referencias a la, 395
Cronología
referencias a la, 395
Cuantificación
en geología, 175 y *sigs.*, 202-205, 237 y *sigs.*, 299
en geomorfología, 237-238, 243

Datos
geológicos, 246-247
Davis, William Morris
descripción antropomórfica de, 188
Deducción estadística
papel de la, en las investigaciones geológicas, 73
Descripción y generalización, 41-43
Descubrimiento de lo impredecible, 96-98
Determinaciones de la edad
por los métodos potasio-argón y plomo-alfa, 149 y *sigs.*
Determinismo
referencias al, 396
Diastrofismo
referencias al, 396
Diccionarios geológicos
bilingües, 265-266
monolingües, 257-264
multilingües, 267
poliglotas, 264-269
Distribuciones de muestreo, 162-163
Doctrina del uniformismo, *véase* Uniformidad, principios de la

Enunciados normativos, 74-76
Equilibrio dinámico
principio del, 32
Especies orgánicas
referencias a las, 397
Estadística, deducción
en geocronometría, 162 y *sigs.*
en la distribución de muestreo, 162-163
resolución de la, 165-168
valor crítico de la, 163-165
Estratigrafía
referencias a la, 397
uso de fósiles guía en, 103 y *sigs.*
y tiempo, 142
Evolución: general, inorgánica y orgánica
referencias a la, 398-399
Evolucionismo
referencias al, 400
Exactitud
a diferencia de la precisión, 147
Experimentos
de laboratorio, 100
"naturales", 95-100
su limitación en geología, 289
Explicación, 51 y *sigs.*
científica, 51-53
clases de, 51-53
de las contestaciones a las preguntas "cómo", "cómo sucedió", "para qué", "por qué", 51-53
en relación con la predicción, 54
no predecible, 59 y *sigs.*
opiniones de Hutton sobre la, 17

referencias a la, 400
y la prueba predecible, 53-59

Facies mineralógicas
concepto de las, 33
Facies sedimentarias
referencias a las, 400
Fallas
clasificación de las, 211-215
clasificación dual de las, 212-220
nomenclatura de las, 211-218
Farrand, W. R.
puntos de vista del uniformismo de, 49
Fenómenos cíclicos
referencias de los 400-401
Fenómenos no predecibles
descubrimiento de los 96-98
Filosofía
de G. K. Gilbert, 275-282
de la geología, contribuciones de Hutton a la, 11-22
referencias a la, 401
Física
relaciones de la, con la geología, 34-38
Foraminíferos
como fósiles guía, 124
Fósiles
estudio estadístico de los, 107 y *sigs.*
referencias a los, 401
uso de los, en correlación de las rocas, 103-142
Fósiles guía, 103 y *sigs.*
amonitas como, 105 y *sigs.*
del Paleozoico, 137-138
ejemplos de, 105 y *sigs.*
evaluación de los, 125
foraminíferos como, 124
utilizados en las correlaciones estratigráficas, 103-104, 141

Generalización y descripción, 42-43
Generalizaciones
estadísticas, 73
probabilistas, 73
Generalizaciones científicas
ambigüedad en las, 78-79
bioestratigráficas, 141
como síntesis, 236
comparadas con las leyes, 32, 33, 44
desarrollo de las, en geología, 35
ejemplos de, 33
imprecisión de las, 76
restringidas en su objetivo, 78
Generalizaciones geológicas, 71
origen de las, 86
universales, 72
uso principal de las, 92
Geobotánica
observaciones de Vitruvio sobre, 309
Geocronología
referencias a la, 401
Geocronometría
precisión y resolución en la, 148-170
Geofísica
referencias a la, 402
Geología
aislamiento académico de la, 320
al servicio del hombre, 307-330
analítica, 101
aplicaciones prácticas de la, 100-101, 307-330
aspectos filosóficos de la, 295-305, 333-334
cisma entre la, y la ingeniería civil, 320
como el estudio de "experimentos naturales", 95-100
como un arte, 76
complejidad de la, 35
contribuciones de la, 96-97, 295-297
contribuciones intelectuales de la, 295-297
crecimiento de la literatura de la, 270-272
datos de la, 246-247
definición de, 28
desarrollo de la generalización en, 33-38
descriptiva, 81, 85
diversidad de la, 40
económica, 307-330
equilibrio de los elementos históricos y no históricos en la, 67
escritos filosóficos acerca de la, 303
exploratoria, 96, 101
florecimiento de la, en los Estados Unidos, 276
fragmentación o división de la, 304

histórica, 59 y *sigs.*, 296-297, 333-334
referencias a la, 408
interés de la, por el tiempo, 298, 333-334
interés público renovado por la, 321-322
metas de la, 27, 234
metodología de la, 297-301
militar, 329
papel de la clasificación en la, 209-220
posición de la, 301-304
propiedades características de la, 27, 296-301
propósitos de la, 27, 234
referencias a la, 402, 406
sistematización de la, 83 y *sigs.*
su desarrollo comparado con el de la biología, 37-38
teoría de la, 71-93, 300
va rumbo a la cuantización, 175 y *sigs.*, 202-205, 237 y *sigs.*, 299
y su dependencia de otras ciencias, 34-35
y su relación con otras ciencias, 261-262
Geología aplicada a la ingeniería
desarrollo de la, 319, 326
Geología experimental
referencias a la, 405-406
Geología estructural
referencias a la, 405
uso del principio de simplicidad en la, 225-231
Geólogos
hábitos en el pensamiento de los, 298-299
primeros estadounidenses, 277
referencias a los, 406
Geomorfología
concerniente con la clasificación, 236-237
davisiana, 238
lineamiento en la investigación en, 237 y *sigs.*
referencias a la, 406-407
Gilbert, G. K.
escritos de, 281-282
filosofía científica de, 275-282
leyes de, 32
su influencia sobre el pensamiento geológico, 275-282
y el origen de las hipótesis, 13, 14, 280
Granitización
teoría de la, 289-292

Hack, John Tilton
principios del equilibrio dinámico de, 32
Hall, James
y su interés primitivo en la geología minera, 317
Harvey, William
y su influencia en el pensamiento de Hutton, 21
Herencia, principio de la
aplicado a la geología, 303
Herodoto
y sus observaciones sobre los fósiles, 308
Hidrofísica
teoría, de Horton, 238
Hipótesis, 61
comprobación de la, 280-282
de G. K. Gilbert y sus ideas acerca de las, 13, 407-408
de trabajo múltiple, 279
origen de las, 13, 14, 278-279
probabilidad de las, 77
referencias a las, 407-408
sugeridas por analogías, 14, 21, 22
Historia
comparada con la ciencia y con la ciencia histórica, 39-41
referencias a la, 408
Historia de casos
en análisis de la metodología, 182-183
"Historia natural", 41, 309
Homotaxis
concerniente a la correlación cronológica, 127
del Cretácico, 135
del Jurásico, 104 y *sigs.*
del Triásico, 135
definida, 103
referencias a la, 409
Huxley, Thomas Henry
perspectivas de la homotaxis, 103
Hutton, James
amigos de, 14, 16
carácter intelectual de, 14-15

entusiasmo de, 14-16
filosofía científica de, 11-22
fuente de las ideas de, 16-22
Playfair y sus informaciones acerca de, 14-15
referencias a, 409
y su concepto de la explicación, 17
y su concepto de la teoría, 17
y su filosofía de la geología, 11-22
y su interés en la geología aplicada, 312-313
y su "Theory of the Earth" comparada con "The Antiquity of the World", 18-21

Ideas
fuente de las, de Hutton, 16-22
Imaginación, 29
Indeterminación
en geología, 76-77
postulado de la, en geomorfología, 239-242
Inducción, 29-30
comparada con la deducción, 236
en geomorfología, 236-237
referencias a la, 409
Ingeniería civil
y su relación con la geología, 307-330

Kinsley, Charles
y su libro "Town Geology", 320-321

Lagunas
reconocimiento y nombramiento de las, 139-140
y su relación con los cambios faunales, 140-141
y su significado en el Jurásico europeo, 127-128
Ley de Dollo, 45
Ley de Williston, 45
Ley(es)
científicas, 43-47
concepto de las, 43-47
cuantitativas, 175, 203
de la declividad, 32
de la estructura, 32
de la horizontalidad original, 31
de la superposición, 30-32
de las divisorias, 32
ejemplos de, 26
excepciones a las, 45
formuladas por G. K. Gilbert, 32
generalizaciones de las, 44
geológicas, 25-38
históricas 45-47
naturales comparadas con los enunciados estocásticos, 239
paleontológicas, 44-45
papel de las, en la geología, 85-86
referencias a las, 409-410
tectónicas, 30-31
Leyes geológicas, *véase* Leyes
Leyes naturales, *véase* Leyes
Lineamientos
y su uso en la predicción, 58, 67
Lippman, H. E.
opiniones catastróficas de, 49
Logan, William Ernest
y su interés en la geología aplicada, 317-318

Maclure, William
y sus estudios geológicos para la explotación de minas de hierro, cobre y zinc, 317
Materialismo dialéctico
referencias al, 411
Mapas geológicos
como instrumentos de comunicación, 246-248
comparados con otras clases de mapas, 286
de carácter interpretativo, 286 y *sigs.*
en relación con la teoría, 289
historia de los, 285-286
naturaleza y significado de los, 285-292
preparación de los, 287
referencias a los, 411
McAdam, James Loudon
y la aplicación de la geología a la construcción de caminos, 315
Método deductivo
referencias al, 395
Método empírico
contra el método racional, 123-205
de la investigación, 179-182
en ingeniería, 179-182
Método en la ciencia histórica, 59-65
Método plomo-alfa para la determinación de la edad, 149 y *sigs.*

Método potasio-argón para la determinación de las edades, 148, 157 y *sigs.*
Metodología, 173-205, 297-301
en los lineamientos geológicos, 202-205
referencias a la, 411-412
Mineralogía
referencias a la, 412
Modelos, 58

Navaja de Occam (u Ockham), *véase* Simplicidad
Neocatastrofismo, 49
referencias al, 412
Neptunismo
referencias al, 413
Nolan, T. B.
y la ley de las riquezas minerales, 33
Nomenclatura
de las fallas, 211-218
referencias a la, 413
reglas de la, 215-218
Ordenación
comparada con la clasificación, 210
Oyster Club, 14

Paleobotánica
referencias a la, 413
Paleoclimatología
referencias a la, 413
Paleoecología
referencias a la, 413
Paleontología
referencias a la, 414-415
uso de las asociaciones en la, 235
y su relación con la geología, 41
Paleozoico
correlaciones del, 137
fósiles guía del, 137
subsistencias y pisos del, 137-138
Paragénesis, 303
Parsimonia, principio de la, *véase* Simplicidad
Perfiles longitudinales de las corrientes, 190-194
Petrología
referencias a la, 415
Piso caloviano
correlaciones del, 119-222
en Peterborough, 107-120
Pisos
del Jurásico, 129-133
del Mesozoico, 136
del Paleozoico, 137-138
Playfair, John
informaciones acerca de Hutton hechas por, 14-15
Plutonismo
referencias al, 415-416
Postdicción, 65
Postulados, 53
de la indeterminación, 241
Precámbrico, historia del
uso del principio de la simplicidad en la, 228-231
Precisión
en geocronometría, 147-170
Predicción, 53-59, 65-66
aspecto utilitario de la, 237
carácter estadístico de la, 239
en la geología estructural, 227
en la geomorfología, 242
en relación con la explicación científica, 54
referencias a la, 416
uso de lineamientos y ciclos en la, 58, 67-68
Preguntas del "cómo", 34, 51-53
Preguntas del "cómo llegó", 53
Preguntas del "cómo sucedió", 52
Preguntas del "por qué", 51-53
Presente como llave del pasado, El, *véase* Uniformidad, principio de la
Principio de asociación, 235
Principio de la economía, *véase* Simplicidad, principio de la
Principio de la herencia, 303
Principio de la indeterminación, 76-77, 239
Principio de la parsimonia, *véase* Simplicidad, principio de la
Principio de la simplicidad, *véase* Simplicidad, principio de la
Principio del equilibrio dinámico, 32
Principios científicos
equivalentes de las leyes específicas, 27
Principios estocásticos

comparados con las leyes naturales, 239-242
en la geomorfología, 242
Probabilidad
referencias a la, 416
Procesos, 28, 36, 38, 190-202, 237-242
Procesos geológicos, 28, 36, 190-202, 237-242
Progresos en la geología, 92, 209 y *sigs.*
Propiedades configuracionales de la materia y de la energía, 40, 50
Propiedades inmanentes de la materia y de la energía, 39, 50, 67
Providencialismo
referencias al, 417
Provincialismo
Jurásico, 133
Prueba, 53

Química
y su relación con la geología, 34-38

Racional, método de investigación, 177-179
como método científico, 182
ejemplos de, 182 y *sigs.*
Radiactividad
fechando edades por medio de la, 148-170
Razonamiento
en el principio de las asociaciones, 233-236
geológico, 297-301
inductivo, 29-30, 236-237
por analogía, 29
uso de la imaginación en el, 29
Reglas
de clasificación, 218-220
de la nomenclatura, 215-218
Resolución en geocronometría, 165-168
deducción estadística en la, 165-168
Respuestas al "cómo", al "cómo llegó" y al "por qué", 51-53
Riquezas minerales, ley de las, 33

Símbolos
cartográficos, 246-247
geológicos, 246-247
matemáticos, 248-249
en la literatura geológica, 237, 246
verbales, 248-272
Simplicidad, principio de la
aplicado a las hipótesis, 280-282
concepto del, 223-225
referencias al, 418
utilizado por los geólogos, 225-231
Sincronismo estratigráfico
definido, 103
evidencias del, 131 y *sigs.*
Series pseudohistóricas, 60
Sistema Cretácico
homotaxis y correlación del, 135
Sistema deductivo, 60, 187
Sistema Jurásico, 104-135
lagunas en el, 127-128
límites del, 134
pisos y subpisos del, 129-133
precisión de la base del, 135
provincialismo del, 133
zonas del, 105-128
Sistema Triásico
homotaxis y correlaciones del, 135
Sistemas científicos, 83
Sistematización, 83
Smeaton, John
observaciones geológicas de, 314-315
Smith, William
su trabajo como ingeniero civil, 316
Steno, Nicholas
ley de la horizontalidad original de, 31
ley de la superposición de, 30
Subpisos
del Jurásico, 129-130
Subsistemas, 137-138
Superposición, ley de la, 30-31
referencias a la, 419

Telford, Thomas
y sus excursiones geológicas junto con Southey, 315-316
Teoría
como un instrumento de deducción histórica, 84
de Hutton, 16
de la geología, 71-93, 300
de la granitización, 289-292
discusión de definiciones de, 79-81

geológica y sus relaciones con la teoría fisicoquímica, 84
hidrofísica de Horton, 238
petrológica, 289-292
referencias a la, 419
relacionada con los mapas geológicos, 289-292
Teoría fisicoquímica, 84
Terminología geológica
abusos de la, 252-253
crecimiento de la, 253-257, 270-271
diccionarios de la, 257-271
fuentes de información de la, 253-257
papel de la, en la teoría de la geología, 85
referencias a la, 419
teórica, 81-82
términos observacionales de la, 81-82
Thompson, James B.
y su concepto de las facies mineralógicas, 33
Tiempo geológico
contribución del, al pensamiento general, 296
divisiones del, 139
en relación a los experimentos naturales, 99
en la escala del tiempo tipo, 142
en la extensión temporal, 91
evaluación en los experimentos de laboratorio del, 99
referencias al, 420-422
y estratigrafía, 142
Torio-uranio, relación
precisión de la, 152-154
Toulmin, George Hoggart
y su influencia sobre Hutton, 19-20

Uniformidad
suposición de, 87-88
Uniformidad, principio de la, 48-51
de George Hoggart Toulmin, 20
de Hutton, 17, 295-297
en la teoría de la geología, 90
formulación de Farrand del, 49
formulación de Geike del, 17
opuesto al catastrofismo, 48
problemas que conciernen al, 87 y *sigs.*
referencias al, 422-424
relacionado con el concepto de las asociaciones, 234-235
Uniformismo, *véase* Uniformidad, principio de la

Valor crítico, 163-165
Velocidad de los ríos, 183-190
Vitruvio
sus contribuciones a la geología, 309

Watt, James
su influencia sobre el pensamiento de Hutton, 11 y *sigs.*
Werner, Abraham Gottob
su interés por la geología aplicada, 312

Zona de facies, 123-125
Zonas paleontológicas
comparación de los Amonitas europeos con los foraminíferos de California de las, 126-127
Zonas paleontológicas
definidas, 105-106
del Jurásico, 106-128
del Jurásico inferior y medio de Europa, 122-124
ejemplos de, 106, y *sigs.*
referencias a las, 426
zonas de facies de las, 123-125, 141
Zonas profundas, 124-125

ESTA EDICION DE 4,000 EJEMPLARES SE TERMINO DE IMPRIMIR EL 24 DE ENERO DE 1970, BAJO LA SUPERVISION EDITORIAL DE LA SRA. MARTHA ARREDONDO, EN LOS TALLERES DE LA COMPAÑIA EDITORIAL CONTINENTAL, S. A., MEXICO

BIBLIOTECA MUNICIPAL MURILO MENDES
JUIZ DE FORA — M G

ALIANZA
PARA EL PROGRESO